

Guia SCE – Parâmetros de Cálculo

Parâmetros de Cálculo

13-Mar-20



ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. ZONAMENTO CLIMÁTICO.....	3
2.1 Estação de aquecimento.....	4
2.2 Estação de arrefecimento.....	8
3. TRANSFERÊNCIAS DE CALOR PELA ENVOLVENTE	11
3.1 Coeficiente de transmissão térmica superficial de elementos opacos - U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	11
3.2 Resistências térmicas superficiais (R_{si} , R_{se})	12
3.3 Resistências térmicas de materiais construtivos (R)	15
3.4 Resistências térmicas de espaços de ar (R_{ar})	18
3.5 Elementos em contacto com o solo, U_{bf} e U_{bw} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]	23
3.6 Coeficiente de transmissão térmica linear - Ψ [$W/(m \cdot ^\circ C)$]	28
3.7 Coeficiente de redução de perdas (b_{tr})	32
4. INÉRCIA TÉRMICA	41
4.1 Massa Superficial Útil, (M_{si})	42
4.2 Massa Superficial Útil, (M_{se})	46
5. TRANSFERÊNCIAS E GANHOS PELA ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA.....	50
5.1 Coeficiente de transmissão térmica.....	51
5.2 Fator solar	57
5.3 Fator de obstrução	69
5.4 Fração envidraçada	80
5.5 Fator de correção da seletividade angular	81
5.6 Área efetiva coletora	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transmissão de calor por transmissão de um elemento.....	1
Figura 2 – Transmissão de calor por ventilação.	2
Figura 3 – Ganhos pela envolvente.....	2
Figura 4 – Definição de graus-dias de um local.....	5
Figura 5 – NUTS III Douro: Graus-dias.	6
Figura 6 – NUTS III Grande Porto: Estação de aquecimento.	8
Figura 7 – NUTS III Douro: Zona climática de verão.	10
Figura 8 – Coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos.	11
Figura 9 – Resistência térmica superficial – Fluxo horizontal.	13
Figura 10 – Resistência térmica superficial – Fluxo vertical descendente.	14
Figura 11 – Resistências térmicas dos espaços de ar (R_{ar}).....	20
Figura 12 – Interpolações para determinação do coeficiente de transmissão térmica.....	27
Figura 13 – Resultados das Interpolações.	27
Figura 14 – Marcação das pontes térmicas lineares.....	30
Figura 15 – Caracterização de espaços úteis e não úteis.....	32
Figura 16 – Coeficiente de redução de perdas.	33
Figura 17 – Coeficiente de redução de perdas, Despacho n.º 15793-K/2013.....	33
Figura 18 – Determinação do coeficiente de redução de perdas.	36
Figura 19 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica.	48
Figura 20 – Representação do fator solar.	50
Figura 21 – Coeficiente de transmissão térmica de envidraçados.....	51
Figura 22 – Fator solar.	57
Figura 23 – Proteção solar permanente.....	62
Figura 24 – Proteção solar móvel.	63
Figura 25 – Pormenor Vão	63
Figura 26 – Determinação do fator solar: Exemplo I.....	66
Figura 27 – Determinação do fator solar: Exemplo II.....	66
Figura 28 – Pormenor de vão.....	67
Figura 29 – Fator de sombreamento por elementos no horizonte.....	71
Figura 30 – Fator de sombreamento por elementos horizontais.....	72
Figura 31 – Fator de sombreamento por elementos verticais.....	73
Figura 32 – Fator de sombreamento pelo contorno do vão, vão recuado.....	73
Figura 33 – Fator de sombreamento pelo contorno do vão, vão à face.	74
Figura 34 – Determinação do fator de obstrução de vãos interiores: Exemplo I.	74
Figura 35 – Determinação do fator de obstrução de vãos interiores: Exemplo II.	75
Figura 36 – Fator de sombreamento do horizonte.....	76

Figura 37 – Determinação do ângulo do horizonte.....	77
Figura 38 – Ângulos de obstrução (na estação de aquecimento).....	77
Figura 39 – Ângulo da pala horizontal.....	78
Figura 40 – Fator de obstrução (na estação de aquecimento).....	79
Figura 41 – Determinação do fator de obstrução de acordo.....	79
Figura 42 – Fração envidraçada (Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013).	80
Figura 43 – Fator de correção da seletividade angular, Tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013.	81
Figura 44 – Área efetiva coletora de um vão envidraçado (estação de aquecimento).	84
Figura 45 – Área efetiva coletora de um vão envidraçado (estação de arrefecimento).	86
Figura 46 – Fator de correção do coeficiente de absorção de uma fachada ventilada	88
Figura 47 – Fator do coeficiente de absorção de uma cobertura em desvão	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alterações legislativas: Portaria n.º 349-A/2013, de 29 de novembro.....	5
Tabela 2 – Tabela 02 do Despacho n.º 15793-F/2013, Zona climática de inverno.....	7
Tabela 3 – Tabela 03 do Despacho n.º 15793-F/2013, de 20 de agosto.....	9
Tabela 4 – Tabela 03 do Despacho n.º 15793-F/2013, Zona Climática Verão.	10
Tabela 5 – Resistências térmicas superficiais.	12
Tabela 6 – Determinação da resistência térmica - Características dos materiais.	17
Tabela 7 – Tabelas de U_{bf} (Retificada pela declaração de retificação n.º 127/2014).	25
Tabela 8 – Perímetro exposto por localização.	26
Tabela 9 – Identificação das pontes térmicas lineares exteriores.	31
Tabela 10 – Exemplo: Identificação das pontes térmicas lineares interiores.	31
Tabela 11 – Classes de Inércia térmica.	41
Tabela 12 – EL1 - Elementos da envolvente exterior ou interior.	43
Tabela 13 – EL2 - Elementos em contacto com o solo (Elementos verticais ou horizontais).....	44
Tabela 14 – EL3 - Elementos de compartimentação interior da fracção autónoma.	45
Tabela 15 – Fator de redução da massa superficial.	46
Tabela 16 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica.	48
Tabela 17 – ψ_g de acordo com o tipo de vidro (ISO 10077-1).	52
Tabela 18 – Resistência térmica adicional devido à proteção solar ativada.	55
Tabela 19 – Permeabilidade ao ar por tipo de proteção solar.	55
Tabela 20 – Tipos de proteções solares exteriores.	59
Tabela 21 – Tipos de proteções solares interiores.	60
Tabela 22 – Determinação do fator de obstrução.	78

1. INTRODUÇÃO

A aplicação das metodologias de desempenho energético em edifícios, assenta num conjunto de parâmetros que permitem quantificar não só as transferências de calor por ventilação e pelos vários elementos construtivos da envolvente, como também os ganhos por radiação solar incidente.

Este guia pretende caracterizar os parâmetros que suportam as metodologias de cálculo dos edifícios de habitação e dos edifícios de comércio e serviços, os quais se passam a caracterizar:

- **Zonamento climático:** a localização do edifício condiciona o seu desempenho energético na medida em que a severidade do clima (Inverno ou Verão), condiciona as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento dos edifícios. O País é então dividido em três zonas climáticas de inverno I1, I2 e I3, e três zonas climáticas de verão V1, V2 e V3, classificados do menos severo ao mais severo.
- **Transferências de calor por transmissão:** são trocas térmicas que ocorrem por um elemento construtivo da envolvente por diferença de temperatura entre duas faces desse elemento. As trocas térmicas podem ser superficiais (dependem da área e da constituição do elemento) e lineares (dependem do comprimento da ligação e do tipo de solução construtiva). As transferências de calor por transmissão resultam então de:

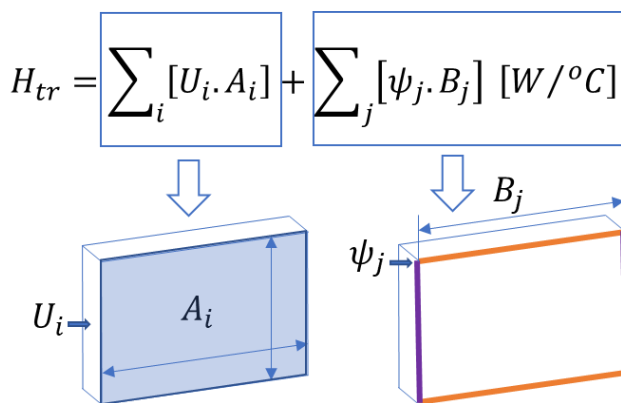
$$H_{tr} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \quad [W/^{\circ}C]$$


Figura 1 – Transmissão de calor por transmissão de um elemento.

- **Transferências de calor por ventilação:** são transferências de calor que ocorrem pelo facto do caudal insuflado não se encontrar a uma temperatura igual à temperatura do espaço interior. As transferências de calor por renovação de ar dependem de R_{ph} (renovação do volume de ar por hora) em que:

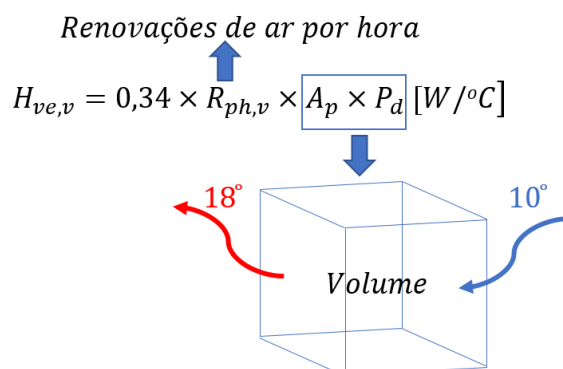


Figura 2 – Transmissão de calor por ventilação.

- **Ganhos pela envolvente:** os ganhos térmicos pela envolvente opaca e envidraçada são ganhos de calor que ocorrem pela radiação solar incidente numa superfície. Dependem da quantidade de radiação incidente, da área de superfície coletora de radiação e dos elementos que eventualmente causam obstrução à radiação incidente.

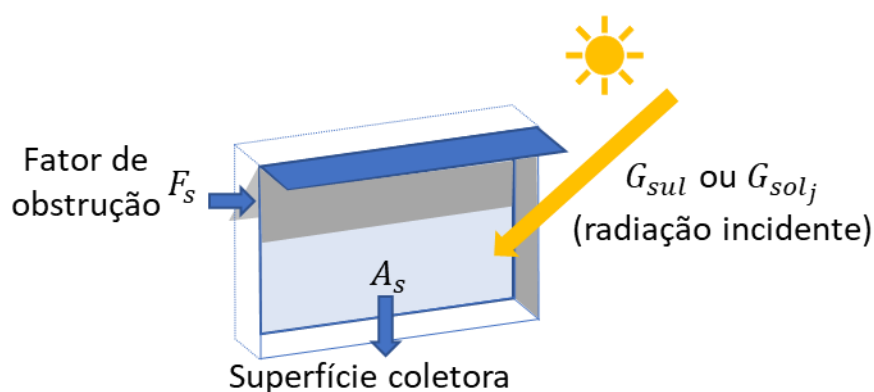


Figura 3 – Ganhos pela envolvente.

- **Ganhos internos:** Os ganhos internos são provenientes de fontes que se encontrem no próprio edifício, e que contribuem para o aumento de temperatura através da libertação de calor para o espaço. Estes tipos de ganhos incluem equipamentos elétricos, iluminação artificial e ganhos resultantes da atividade metabólica dos ocupantes.

2. ZONAMENTO CLIMÁTICO

Zonamento significa separar/agrupar zonas específicas, de acordo com as condições existentes em cada uma delas.

A palavra “climático” é um adjetivo associado ao clima que se relaciona com fenómenos pela sua duração ou persistência, pela sua repetição e são caracterizados por valores médios, variâncias e probabilidades de ocorrência de valores extremos.

Com base nestas definições é relevante caracterizar e dividir o país em zonas climáticas permitindo desta forma observar-se zonas com condições climáticas diferenciadas.

O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, numa composição por municípios, conforme indicado no Despacho n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro. Todavia, a análise de requisitos incide não no zonamento climático, mas sim em zona climática, em estação de aquecimento e arrefecimento, que igualmente faz parte integrante do referido despacho.

Cada estação, aquecimento (inverno) e arrefecimento (verão), foi dividida em três zonas climáticas variando os requisitos da envolvente. Desta forma, a estação de aquecimento encontra-se dividida nas zonas climática, I1, I2 e I3 com exigências de requisitos ao nível do coeficiente de transmissão térmica (U expresso em $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$) e a estação de arrefecimento divide-se nas zonas climática V1, V2 e V3 com exigências de requisitos ao nível do fator solar dos vãos envidraçados (g expresso em valor adimensional).

Os concelhos encontram-se, igualmente, agregados na NUTS de nível III e para cada uma destas unidades encontra-se tabelados¹ valores de referência (duração da estação de aquecimento, graus-dias de aquecimento, temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento e temperatura exterior média dia-noite durante a estação de arrefecimento) para uma altitude de referência, devendo estes valores serem ajustados à altitude do local que se pretende caracterizar através da equação seguinte.

$$X = X_{REF} + a (z - z_{REF}) [meses ou ^\circ C]$$

¹ Tabela 04 e 05 do Despacho n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro.

2.1 ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

Na estação de aquecimento (inverno), os parâmetros que devem ser observados constam na Tabela 04² do referido despacho, nomeadamente:

GD – Número de graus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento, [°C];

M – Duração da estação de aquecimento [meses];

$\theta_{(ext,i)}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento, [°C];

G_{sul} – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul, [kWh/m². mês].

Os graus-dias (GD), utilizados para caraterizar a severidade do inverno num local, correspondem à diferença entre a temperatura base, de 18°C, e a temperatura exterior inferior a esta ao longo do ano, representados no gráfico exemplificativo abaixo pela área a cinzento e determinados pelas expressões seguintes:

$$GD = \sum_j \left(\sum_i (T_b - T_{ext_{i,j}}) \right) [^{\circ}C]$$

$$\text{Se } T_b < T_{ext_{h,d}}, \text{ então } T_b - T_{ext_{i,j}} = 0$$

Onde:

T_b – Temperatura base de 18°C;

$T_{ext_{i,j}}$ – Temperatura do ar exterior para a hora i, do dia j.

² A tabela 04 foi retificada para as Regiões Autónomas dos Açores e Madeira na Declaração de retificação n.º 130/2014, de 11 de fevereiro.

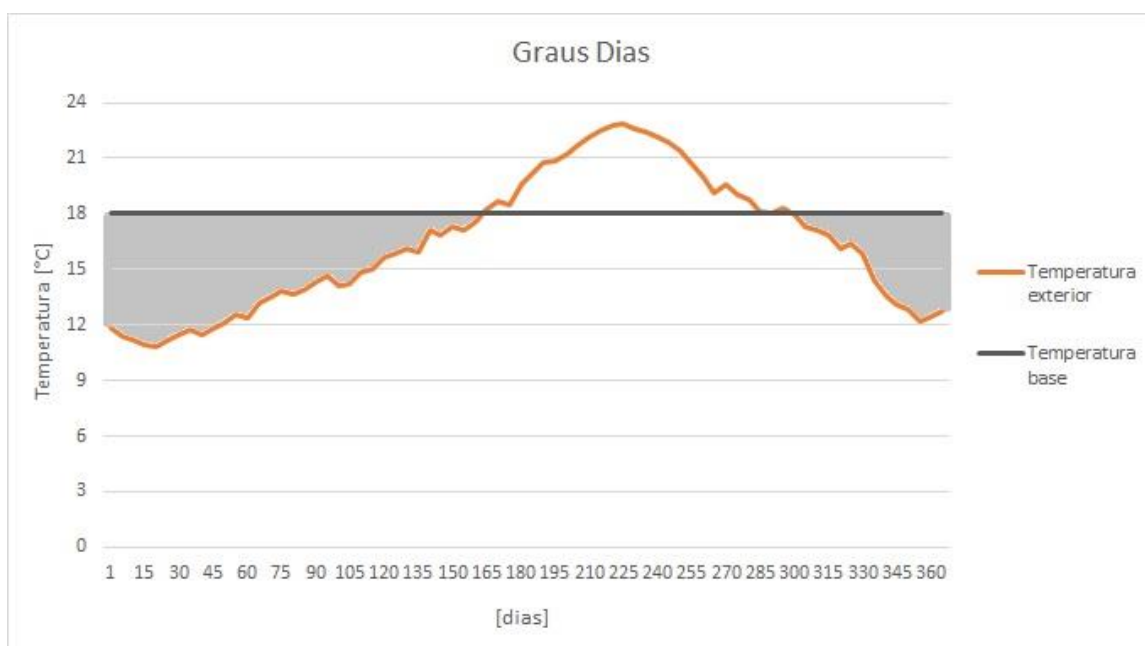


Figura 4 – Definição de graus-dias de um local.

A determinação da zona climática de inverno varia consoante os graus-dias do local, estabelecendo-se na tabela seguinte³ os intervalos.

Tabela 1 – Alterações legislativas: Portaria n.º 349-A/2013, de 29 de novembro.

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$1800 < GD$
Zona	I1	I2	I3

A fórmula para ajuste do valor tabelado com base na altitude do local, anteriormente apresentada, reformula-se então na seguinte, obtendo-se os valores necessários na Tabela 04 do despacho para a altitude do local que se pretende caracterizar:

$$GD = GD_{REF} + a (z - z_{REF}) [^{\circ}C]$$

³ Transcrição da Tabela 02 do Despacho n.º 15793-F/2013, de 20 de agosto.

Exemplo: Determinar a zona climática de inverno de um local sito em Moimenta da Beira com uma altitude de 690 metros.

Resolução: Por consulta da Tabela 01 do Despacho n.º 15793-F/2013, observa-se que o concelho de Moimenta da Beira situa-se na NUTS III do Douro.

Na determinação da zona climática de inverno é necessária a determinação dos graus-dia de aquecimento. Recorrendo à Tabela 04, para a NUTS III Douro, obtêm-se os seguintes valores de referência:

- Altitude: 579 metros
- Graus-dia: 1 764 °C
- $a = 1\,400\text{ °C/km}$

	z	M		GD		$\theta_{ext,i}$		G _{Sal} kWh/m² por mês
	REF m	REF meses	a mês/km	REF °C	a °C/km	REF °C	a °C/km	
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
Tâmega	420	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135
Douro	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140
Cova da Beira	507	7,1	0	1687	1400	7,5	-5	140
Serra da Estrela	553	7,5	0	1851	1600	7,0	-5	135
Dão - Lafões	497	7,3	0	1702	1900	7,5	-6	135

Figura 5 – NUTS III Douro: Graus-dias.

Aplicando a expressão de cálculo determina-se os Graus-Dia:

$$GD = GD_{REF} + a (z - z_{REF})$$

$$GD = 1\,764 + 1\,400 \times (0,690 - 0,579) = 1\,919\text{ °C}$$

Tendo os graus-dia⁴ consulta-se a tabela do critério para a determinação da zona climática de inverno e conclui-se que estamos perante um I3 (1919 GD > 1800 GD)

Tabela 2 – Tabela 02 do Despacho n.º 15793-F/2013, Zona climática de inverno.

Critério	GD ≤ 1300	1300 < GD ≤ 1800	1800 < GD
Zona	I1	I2	I3

Exemplo: Determinar a duração da estação de aquecimento (M) de um local sito em Vila do Conde com uma altitude de 5 metros.

Resolução: Por consulta da Tabela 01 do Despacho n.º 15793-F/2013, observa-se que o concelho de Vila do Conde situa-se na NUTS III do Grande Porto. Por conseguinte, na tabela na Tabela 04 do mesmo despacho encontram-se os seguintes valores de referência:

- Altitude: 94 metros
- M: 6,2 meses
- $\alpha = 2$ mês/km

⁴ A determinação dos Grau-dia efetua-se à unidade, ou seja, na mesma ordem de grandeza tal como apresentados na tabela 04

	z	M		GD		$\theta_{ext, i}$		G_{Sul} kWh/m ² por mês
	REF m	REF meses	a mês/km	REF °C	a °C/km	REF °C	a °C/km	
Minho-Lima	268	7,2	1	1629	1500	8,2	-5	130
Alto Trás-os-Montes	680	7,3	0	2015	1400	5,5	-4	125
Cávado	171	6,8	1	1491	1300	9,0	-6	125
Ave	426	7,2	0	1653	1500	7,8	-6	125
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130
Tâmega	320	6,7	0	1570	1600	7,8	-5	135
Douro	579	6,9	0	1764	1400	6,3	-4	135
Entre Douro e Vouga	298	6,9	1	1544	1400	8,4	-5	135
Baixo Vouga	50	6,3	2	1337	1100	9,5	-5	140
Baixo Mondego	67	6,3	0	1304	1000	9,7	-5	140
Beira Interior Norte	717	7,5	0	1924	1000	6,3	-3	135
Beira Interior Sul	328	5,4	1	1274	1800	9,1	-6	140

Figura 6 – NUTS III Grande Porto: Estação de aquecimento.

Aplicando a expressão de cálculo determina-se a duração da estação de aquecimento:

$$M = M_{REF} + a (z - z_{REF})$$

$$M = 6,2 + 2 \times (0,005 - 0,094) = 6,02 \text{ meses}$$

2.2 ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

A identificação da zona climática na estação de arrefecimento (verão) recai na temperatura exterior média obtida através da análise dos elementos que constam na Tabela 05 do Despacho n.º 15793-F/2013, sendo os parâmetros climáticos pertinentes:

L_v – Duração da estação = 4 meses = 2 928 horas;

$\theta_{(ext,v)}$ – Temperatura exterior média dia-noite durante toda a estação de arrefecimento, [°C]

I_{sol} – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [kWh/m²].

A zona climática de verão estabelece-se assim nos intervalos da tabela seguinte⁵.

Tabela 3 – Tabela 03 do Despacho n.º 15793-F/2013, de 20 de agosto.

Critério	$\Theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \Theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\Theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Com recurso à expressão infra e consultando os valores na Tabela 05 do despacho, para a altitude do local que se pretende caracterizar, temos:

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v_{REF}} + a (z - z_{REF}) [^{\circ}\text{C}]$$

Exemplo: Determinar a zona climática de verão de um local sito em Moimenta da Beira com uma altitude de 690 metros.

Resolução: Por consulta da Tabela 01 do Despacho n.º 15793-F/2013, observa-se que o concelho de Moimenta da Beira situa-se na NUTS III do Douro.

Na determinação da zona climática de verão é necessária a determinação da temperatura exterior. Recorrendo à Tabela 05, para a NUTS III Douro, temos os seguintes valores de referência:

- Altitude: 579 metros
- $\theta_{ext,v_{REF}}: 22,7^{\circ}\text{C}$
- $a = -6^{\circ}\text{C/km}$

⁵ Transcrição da Tabela 03 do Despacho n.º 15793-F/2013, de 20 de agosto.

	z REF m	$\theta_{ext,v}$		I_{sol}									
		REF °C	a °C/km	kWh/m ² acumulados de junho a setembro									
				0°	90° N	90° NE	90° E	90° SE	90° S	90° SW	90° W	90° NW	
Minho-Lima	268	20,5	-4	785	220	345	475	485	425	485	475	345	
Alto Trás-os-Montes	680	21,5	-7	790	220	345	480	485	425	485	480	345	
Cávado	171	20,7	-3	795	220	345	485	490	425	490	485	345	
Ave	426	20,8	-3	795	220	350	490	490	425	490	490	350	
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350	
Tâmega	228	20,5	-4	800	220	350	490	490	425	490	490	350	
Douro	579	22,7	-6	805	220	350	490	490	420	490	490	350	
Entre Douro e Vouga	298	20,6	-3	805	220	350	490	490	425	490	490	350	
Baixo Vouga	50	20,6	-2	810	220	355	490	490	420	490	490	355	
Baixo Mondego	67	20,9	0	825	225	360	495	495	420	495	495	360	
Beira Interior Norte	717	21,7	-5	820	220	355	495	500	425	500	495	355	
Beira Interior Sul	328	25,3	-7	830	220	360	500	495	420	495	500	360	

Figura 7 – NUTS III Douro: Zona climática de verão.

Aplicando a expressão determina-se a temperatura exterior para o local em questão:

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v_{REF}} + a (z - z_{REF})$$

$$\theta_{ext,v} = 22,7 + (-6) \times (0,690 - 0,579) = 22,03 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Com a temperatura exterior consulta-se a tabela do critério para a determinação da zona climática de verão e conclui-se que estamos perante um V3.

Tabela 4 – Tabela 03 do Despacho n.º 15793-F/2013, Zona Climática Verão.

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

3. TRANSFERÊNCIAS DE CALOR PELA ENVOLVENTE

Este capítulo visa esclarecer os fundamentos associados à transferência de calor pela envolvente, através da observação das características dos elementos que compõem a solução construtiva bem como da sua localização.

A maior ou menor capacidade de transferência de calor dos elementos/soluções construtivos da envolvente assume relevância na avaliação do desempenho da construção dos imóveis.

Neste capítulo será desenvolvido o tema relacionado com o coeficiente de transmissão térmica superficial de elementos opacos, a resistência térmica superficial, os materiais construtivos e o espaço de ar, os elementos em contato com o solo e o coeficiente de transmissão térmica linear.

3.1 COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL DE ELEMENTOS OPACOS - U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

Definição: O coeficiente de transmissão térmica superficial de elementos opacos, é uma característica dos elementos construtivos que traduz a potência térmica que atravessa $1 m^2$ do elemento por diferença de grau Célsio [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$].

Quando existe diferença de temperatura entre as faces interior e exterior de um elemento, a transmissão de calor através dele depende da resistência que cada camada de material que compõe o elemento oferece a essa transmissão. Além da resistência oferecida por cada um dos materiais, duas camadas de ar microscópicas que se encontram nas faces do elemento também afetam a transmissão de calor.

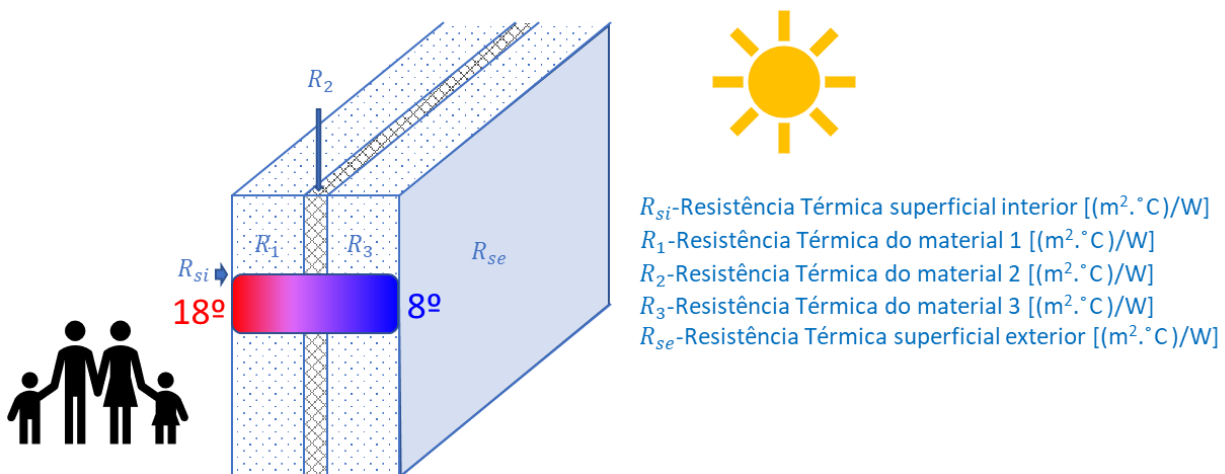


Figura 8 – Coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica de um elemento construtivo é então obtido através do inverso do somatório das resistências térmicas superficiais e das várias camadas que compõem o elemento, incluindo caixas de ar com espessura inferior a 30 cm, ou seja:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

em que:

R_j - Resistência térmica da camada j, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$;

R_{si} - Resistência térmica interior, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$;

R_{se} - Resistência térmica exterior, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$.

O método de cálculo destas resistências será alvo de descrição detalhada nos respetivos subcapítulos.

3.2 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS (R_{si} , R_{se})

Definição: O coeficiente de transmissão térmica superficial de elementos opacos, é uma característica dos elementos construtivos que traduz a potência térmica que atravessa 1 m² do elemento por diferença de grau Célsio $[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$.

Os valores das resistências térmicas superficiais encontram-se tabelados nas publicações do LNEC, nomeadamente o ITE50, e na Tabela 01 do Despacho n.º 15793-K/2013. Dependem dos fenómenos de convecção e da direção do fluxo de calor (horizontal, vertical ascendente e descendente).

Tabela 5 – Resistências térmicas superficiais.

Sentido do Fluxo de calor		Resistência Térmica $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$	
		Exterior R_{se}	Interior ou face exterior em contacto com ENU R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente		0,17

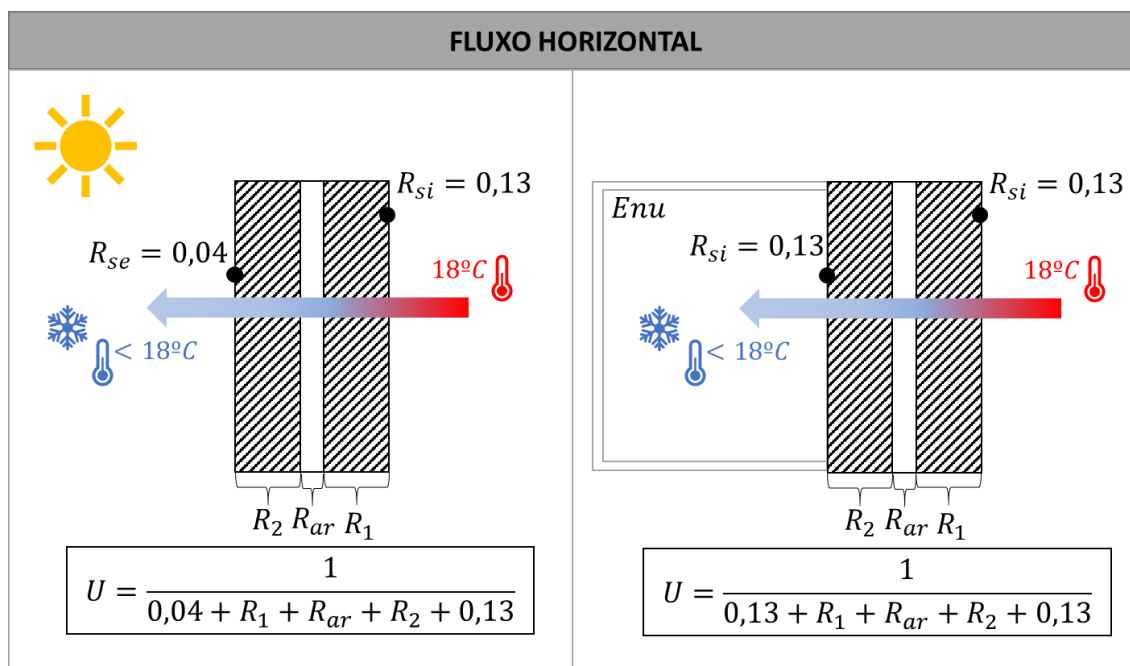
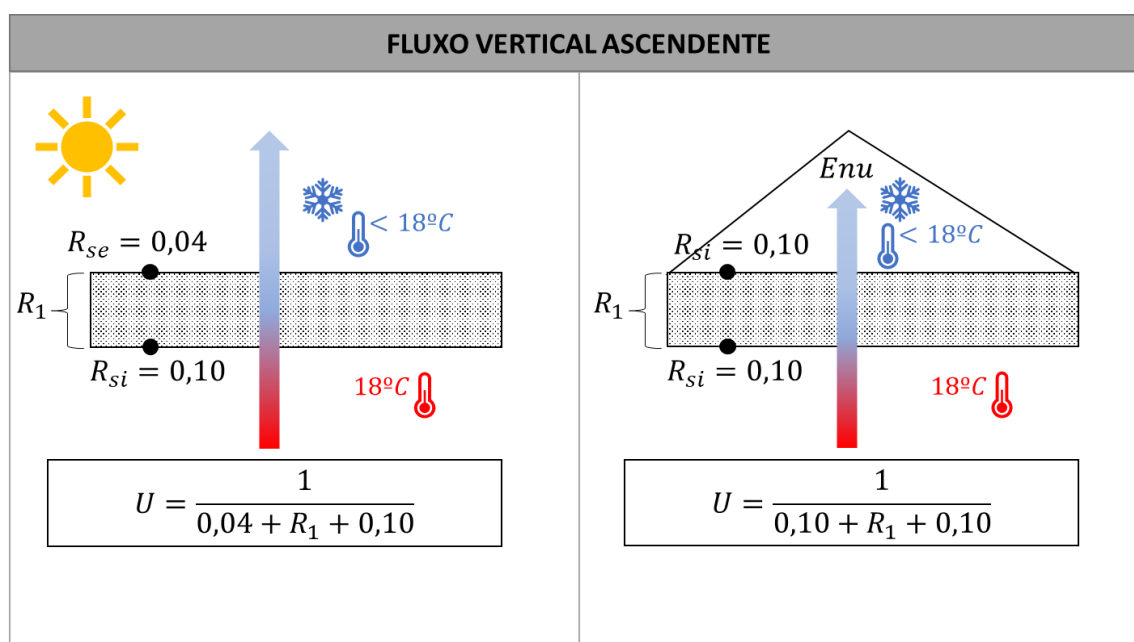


Figura 9 – Resistência térmica superficial – Fluxo horizontal.

Nota: ENU é a abreviatura de espaço não útil, ou seja, um espaço sem condições de referência no âmbito do REH⁶. No âmbito do RECS este espaço assemelha-se aos espaços tipo “B” que se encontram esclarecidos no guia “5.1 Guia SCE – Conceitos e Definições (RECS)”.



⁶ Conceito em oposição à definição de espaço interior útil apresentado na alínea cc), do artigo 2º, do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, na sua atual versão

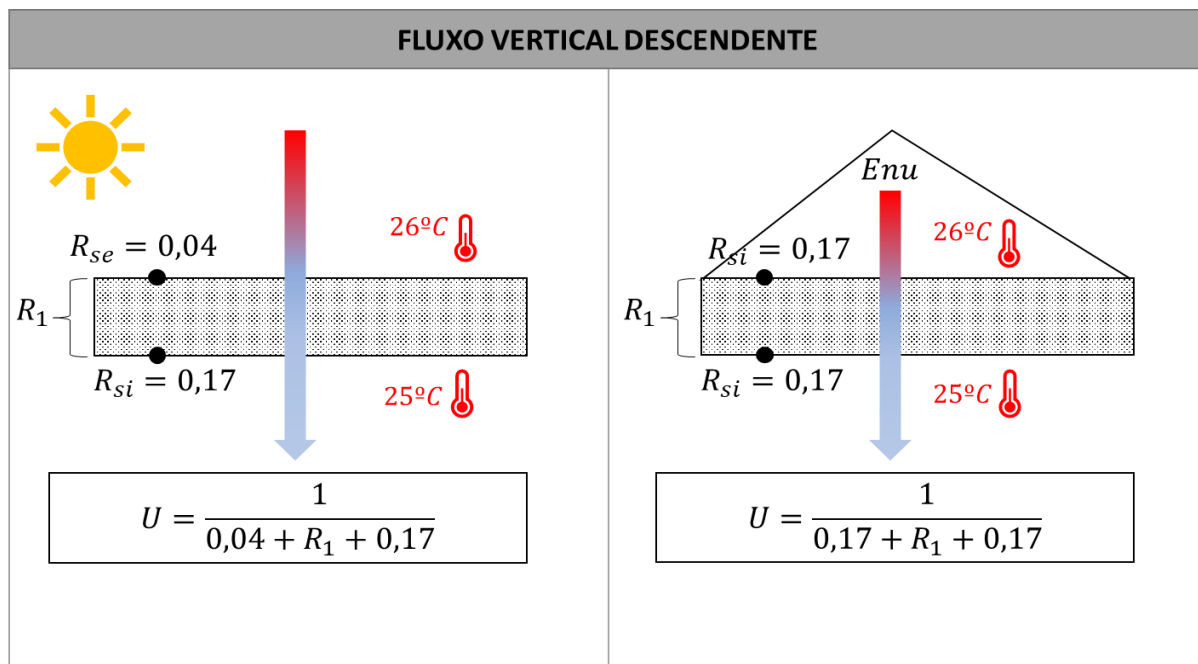


Figura 10 – Resistência térmica superficial – Fluxo vertical descendente.

Conhecendo o valor da resistência térmica de um elemento construtivo é possível, combinando os valores das resistências térmicas dos vários elementos constituintes da solução, determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica para as várias direções de fluxo de calor.

Exemplo: Determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica de uma cobertura sob desvão fortemente ventilado, sabendo que a mesma solução de cobertura exterior tem um coeficiente de transmissão térmica $U = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$, calculado para um fluxo vertical ascendente.

Resolução: Qualquer valor de coeficiente de transmissão térmica inclui o valor do somatório das resistências térmicas dos materiais construtivos e o somatório de duas resistências térmicas superficiais.

Se a solução de cobertura em contacto com o exterior possui um $U \uparrow = 0,35 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$ para um fluxo vertical ascendente, significa que o valor de U foi calculado considerando um $R_{si} = 0,10 \text{ [(m}^2\cdot\text{°C)/W]}$ e um $R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2\cdot\text{°C)/W]}$.

Quando a mesma solução construtiva passa a ser uma solução interior, é necessário corrigir o valor de U , ou seja, é necessário retirar o valor de R_{se} e adicionar o valor de R_{si} para a respetiva direção de fluxo.

Qualquer correção ao valor de um coeficiente de transmissão térmica, apenas pode ser realizado com recurso a resistências térmicas, ou seja:

1º passo: Alterar o valor de U ($\uparrow$) = 0,35 [W/(m².°C)] para resistência:

$$U = 0,35 \rightarrow R = \frac{1}{0,35} (m^2 \cdot ^\circ C)/W$$

2º passo: Aplicar a correção das resistências com a expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

Subtraindo o valor de R_{se} e adicionando o valor de R_{si} uma vez que a solução passa para uma solução interior.

$$U(\uparrow) = \frac{1}{\frac{1}{0,35} - 0,04 + 0,10} = 0,34 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$$

Esta metodologia aplica-se também quando pretendemos inverter os fluxos de calor que atravessa os elementos construtivos horizontais (coberturas e pavimentos).

3.3 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS (R)

Definição: A resistência térmica de um material construtivo traduz a oposição que aquela camada de material oferece à transmissão de calor. Depende da condutibilidade térmica do material e da espessura da camada.

A resistência térmica de um material construtivo é obtida através da seguinte expressão:

$$R = \frac{e}{\lambda} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$$

Em que:

R - Resistência térmica da camada [(m².°C)/W];

e - Espessura da camada [m];

λ - Condutibilidade térmica do material [W/(m.°C)].

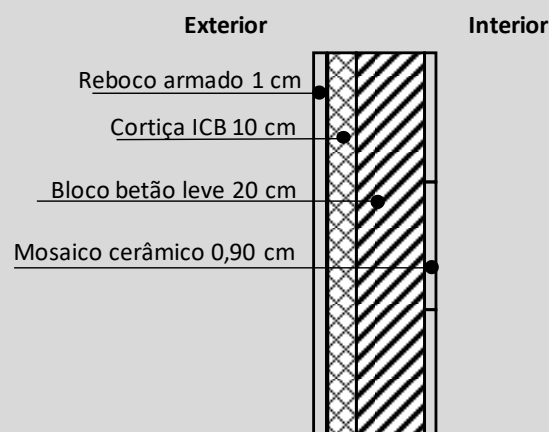
No que refere à condutibilidade térmica, sendo esta uma característica do próprio material, esta deve constar na ficha técnica a ser fornecida pelo fabricante.

Nas situações em que não é conhecido o fornecedor do material, a resistência térmica de uma camada pode ser determinada com recurso aos valores de condutibilidade térmica dos materiais de construção correntes, listados nas publicações do LNEC sobre coeficientes de transmissão térmica de elementos das envolventes dos edifícios (ITE 50).

Existem situações em que os elementos construtivos são compostos por materiais não homogêneos, como por exemplo tijolos cerâmicos furados, lajes aligeiradas de blocos de betão, entre outros.

Nestas situações, o fabricante ensaia o material como um todo e fornece na ficha técnica o valor da resistência térmica do material.

Exemplo: Determinar o valor da resistência térmica (RT) de uma parede exterior com o seguinte pormenor construtivo:



Resolução: A resistência térmica do elemento construtivo é dada pelo somatório das resistências das várias camadas que compõem o elemento. No caso de materiais homogêneos, a resistência térmica é calculada através da espessura e da condutibilidade do material. Em materiais não homogêneos a resistência é obtida diretamente do catálogo ou das publicações do LNEC (ITE50).

Tabela 6 – Determinação da resistência térmica - Características dos materiais.

Material	Homogéneo	e [m]	λ [W/(m. °C)]	$R = e/\lambda$ [(m². °C)/W]	Fonte
Mosaico Cerâmico	Sim	0,009	1,3	0,0069	Quadro I.2 ITE50, página I.10 (Revestimentos de pisos ou de paredes)
Bloco de Betão leve	Não	-----	-----	0,49	Quadro I.5 ITE50, página I.12 (Resistências térmicas de paredes simples de alvenaria)
Cortiça ICB	Sim	0,10	0,045	2,22	Quadro I.1 ITE50, página I.3 (Isolantes térmicos)
Reboco Armado	Sim	0,01	1,8	0,0056	Quadro I.2 ITE50, página I.7 (Argamassas e rebocos tradicionais)
$\Sigma R =$				2,72	(m². °C)/W

$$R_T = \frac{0,009}{1,3} + 0,49 + \frac{0,10}{0,045} + \frac{0,01}{1,8} = 2,72 \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$$

3.4 RESISTÊNCIAS TÉRMICAS DE ESPAÇOS DE AR (R_{AR})

Definição: A resistência térmica de um espaço de ar traduz a oposição que aquela camada de ar oferece à transmissão de calor. Depende da espessura do espaço de ar, do grau de ventilação do espaço e do sentido do fluxo de calor.

Os espaços de ar (caixas de ar) de um elemento construtivo classificam-se, em função do grau de ventilação, em:

- **Estanques:** sem orifícios que permitem ventilação do espaço ou com orifícios com a seguinte relação:

$$\frac{A_{abertura}}{S} \leq 500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$$

Em que:

$A_{abertura}$ – Área de orifícios de ventilação [mm^2];

S – Área de parede ou cobertura [m^2].

- **Fracamente ventiladas:** com orifícios que permitem ventilação do espaço de acordo com a seguinte expressão:

$$500 \text{ mm}^2/\text{m}^2 < \frac{A_{abertura}}{S} \leq 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$$

Em que:

$A_{abertura}$ – Área de orifícios de ventilação [mm^2];

S – Área de parede ou cobertura [m^2].

- **Fortemente ventiladas:** com orifícios que permitem ventilação do espaço de acordo com a seguinte expressão:

$$\frac{A_{abertura}}{S} > 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$$

Em que:

$A_{abertura}$ – Área de orifícios de ventilação [mm^2];

S – Área de parede ou cobertura [m^2].

Existem algumas considerações a ter em atenção, quando se avalia o impacto da resistência térmica dos espaços de ar no cálculo do coeficiente de transmissão térmica, são estas:

1. Apenas são consideradas resistências térmicas de caixas de ar de espaços de ar estanques e fracamente ventilados até 30 cm de espessura.
2. Sempre que os espaços de ar apresentam uma dimensão superior a 30 cm, devem ser tratados como espaços não úteis (E_{nu}), e o valor das trocas térmicas afetado pelo respetivo b_{tr} .
3. No caso de se tratar de um elemento construtivo em contacto com o exterior, quando os espaços de ar são fortemente ventilados, apenas são contabilizadas as resistências térmicas dos materiais desde o interior até à caixa de ar.
4. As resistências térmicas dos espaços de ar estanques variam com a espessura do espaço de ar e com a direção do fluxo de calor. São valores tabelados e encontram-se na Tabela 02 do Despacho n.º 15793-K/2013 e no Quadro I.4 do ITE50.
5. As resistências térmicas dos espaços de ar fracamente ventilados dependem da espessura do espaço de ar, sentido do fluxo e do somatório das resistências térmicas dos materiais que se encontram entre a caixa de ar e o exterior, na medida em que:
 - Se a **resistência térmica do elemento construtivo** localizado entre o espaço de ar e o ambiente exterior for:
 - ✓ $\leq 0,15 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W}$, a resistência térmica do espaço de ar fracamente ventilado é metade do valor correspondente ao indicado no quadro correspondente aos espaços de ar não ventilados;
 - ✓ $> 0,15 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W}$, a resistência térmica do espaço de ar fracamente ventilado deve tomar o valor de $0,15 \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W}$.

Valores a considerar nas resistências térmicas dos espaços de ar (R_{ar})

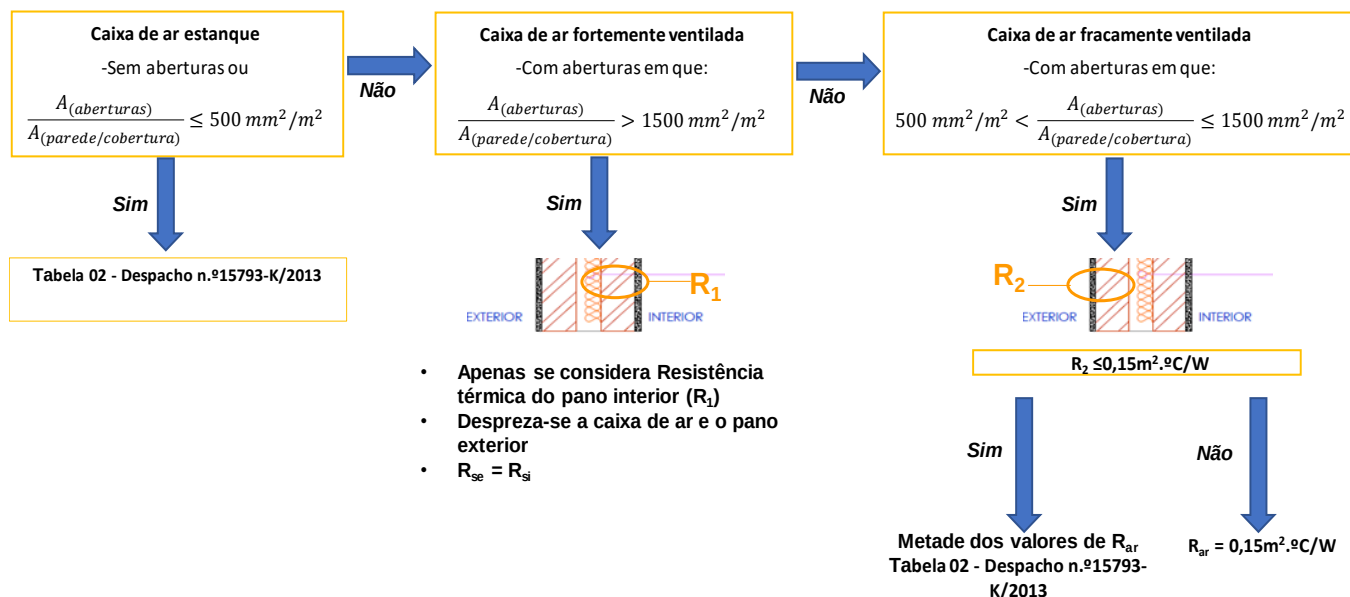
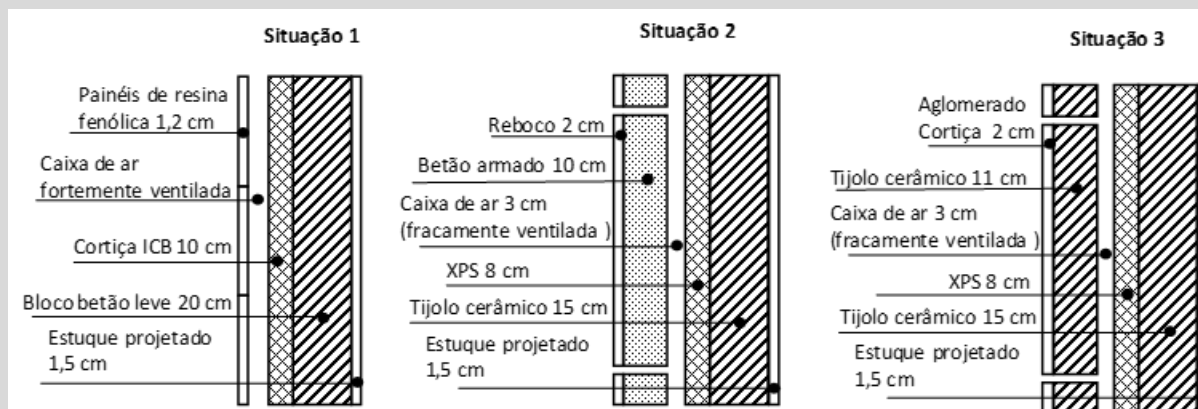


Figura 11 – Resistências térmicas dos espaços de ar (R_{ar}).

Exemplo: Determinar o valor do coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores com os seguintes pormenores construtivos:



Resolução:

Situação 1 – Caixa-de-ar Fortemente Ventilada

- Painéis de resina fenólica → $e = 0,012 \text{ m}$; $\lambda = 0,25 \text{ [W/(m} \cdot ^\circ\text{C)]}$ ITE50, Quadro I.2, Revestimento de Pisos ou de Paredes “Plásticos $\rho = 1700 \text{ kg/m}^3$ ”
- Caixa-de-ar fortemente ventilada → **Não se considera a resistência**

- Cortiça ICB → **e = 0,10 m; λ = 0,045 [W/(m. °C)]** ITE50, Quadro I.1, Isolantes Térmicos “Aglomerado de cortiça expandida $\rho = 90$ a 140 kg/m^3 ”
- Bloco Betão leve → **R = 0,49 [(m². °C)/W]** ITE50, Quadro I.5, Paredes de Alvenaria “Bloco de Betão leve 0,20”
- Estuque projetado → **e = 0,015 m; λ = 0,43 [W/(m. °C)]** ITE50, Quadro I.2, Gessos (Estuques) “Estuque projetado $\rho = 900$ a 1200 kg/m^3 ”

Como a caixa-de-ar é fortemente ventilada não se considera a sua resistência nem a resistência dos elementos entre a caixa-de-ar e o exterior. O valor de R_{se} dá lugar ao valor de R_{si} .

$$U_1 = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{si}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,10}{0,045} + 0,49 + \frac{0,015}{0,43} + 0,13} = 0,33 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Situação 2 – Caixa-de-ar Fracamente Ventilada

- Reboco → **e = 0,02 m; λ = 1,3 [W/(m. °C)]** ITE50, Quadro I.2, Argamassas (cimento ou cal), “Argamassas e rebocos tradicionais $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ a 2000 kg/m^3 ”
- Betão Armado → **e = 0,10 m; λ = 2,0 [W/(m. °C)]**, ITE50, Quadro I.2, Betões, “betão armado inertes correntes com % armadura < 1%, $\rho = 2300$ a 2400 kg/m^3 ”
- Caixa-de-ar fracamente ventilada → **e = 0,03 m; R = 0,18 [(m². °C)/W]** Tabela 02, Despacho 15793-K/2013, fluxo horizontal 30 mm)
- XPS → **e = 0,08 m; λ = 0,037 [W/(m. °C)]** ITE50, Quadro I.1, Isolantes Térmicos “poliestireno expandido extrudido (XPS) $\rho = 25$ a 40 kg/m^3 ”
- Tijolo cerâmico furado → **R = 0,39 [(m². °C)/W]**, ITE50, Quadro I.5, Paredes de Alvenaria “Tijolo cerâmico furado” 0,15)
- Estuque projetado → **e = 0,015 m; λ = 0,43 [W/(m. °C)]** ITE50, Quadro I.2, Gessos (Estuques) “Estuque projetado $\rho = 900$ a 1200 kg/m^3 ”

Como a caixa-de-ar é fracamente ventilada, o valor da resistência da mesma depende da resistência térmica das camadas que se encontram entre a caixa-de-ar e o exterior (reboco + betão).

$$R_{\text{pano exterior}} = \frac{0,02}{1,3} + \frac{0,10}{2,0} = 0,07 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$

$$R_{\text{pano exterior}} \leq 0,15 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$



A resistência da camada de ar (R_{ar}) é obtida através da expressão:

$$R_{ar} = \frac{\text{Tabela 02, Despacho n.}^\circ 15793 - K/2013}{2} = \frac{0,18}{2} = 0,09 \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$$

Desta forma, o coeficiente de transmissão térmica resulta de:

$$U_2 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,02}{1,3} + \frac{0,10}{2,0} + 0,09 + \frac{0,08}{0,037} + 0,39 + \frac{0,015}{0,43} + 0,13} = 0,34 \text{ [W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)]}$$

Situação 3 – Caixa-de-ar Fracamente Ventilada

- Aglomerado de Cortiça → **e = 0,02 m; $\lambda = 0,065$ [W/(m·°C)]** ITE50, Quadro I.2, Revestimento de pisos ou de Paredes, "Aglomerado de cortiça $\rho > 400 \text{ kg/m}^3$ "
- Tijolo cerâmico furado → **R = 0,27 [(m²·°C)/W]**, ITE50, Quadro I.5, Paredes de Alvenaria "Tijolo cerâmico furado" 0,11)
- Caixa de ar fracamente ventilada → **e = 0,03 m; R = 0,18 [(m²·°C)/W]** Tabela 02, Despacho n.º 15793-K/2013, Fluxo horizontal 30 mm)
- XPS → **e = 0,08 m; $\lambda = 0,037$ [W/(m·°C)]** ITE50, Quadro I.1, Isolantes Térmicos "poliestireno expandido extrudido (XPS) $\rho = 25$ a 40 kg/m^3 "
- Tijolo cerâmico furado → **R = 0,39 [(m²·°C)/W]**, ITE50, Quadro I.5, Paredes de Alvenaria "Tijolo cerâmico furado" 0,15)

- Estuque projetado → **$e = 0,015 \text{ m}$** ; **$\lambda = 0,43 \text{ [W/(m.}^\circ\text{C)]}$** ITE50, Quadro I.2, Gessos (Estuques)
“Estuque projetado $\rho = 900 \text{ a } 1200 \text{ kg/m}^3$ ”

$$R_{\text{pano exterior}} = \frac{0,02}{0,065} + 0,27 = 0,58 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$

$$R_{\text{pano exterior}} > 0,15 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$



$$R_{ar} = \textcolor{red}{0,15} \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$



$$U_3 = \frac{1}{0,04 + \frac{0,02}{0,065} + 0,27 + \textcolor{red}{0,15} + \frac{0,08}{0,037} + 0,39 + \frac{0,015}{0,43} + 0,13} = 0,29 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

3.5 ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO, U_{bf} E U_{bw} [W/(m².°C)]

Definição: O coeficiente de transmissão térmica superficial de elementos em contacto com solo, é uma característica dos elementos construtivos em contacto com o solo que traduz a potência térmica que atravessa 1 m² do elemento por diferença de grau Célsio [W/(m².°C)].

Os coeficientes U_{bf} e U_{bw} , para pavimento e paredes enterradas, respetivamente, são obtidos recorrendo às tabelas 3 a 5 do Despacho n.º 15793-K/2013, variando com a resistência térmica dos elementos (sem contabilizar as resistências térmicas superficiais), com o tipo de isolamento e sua espessura (quando aplicável) e com o fator B' , que se determina pela expressão seguinte:

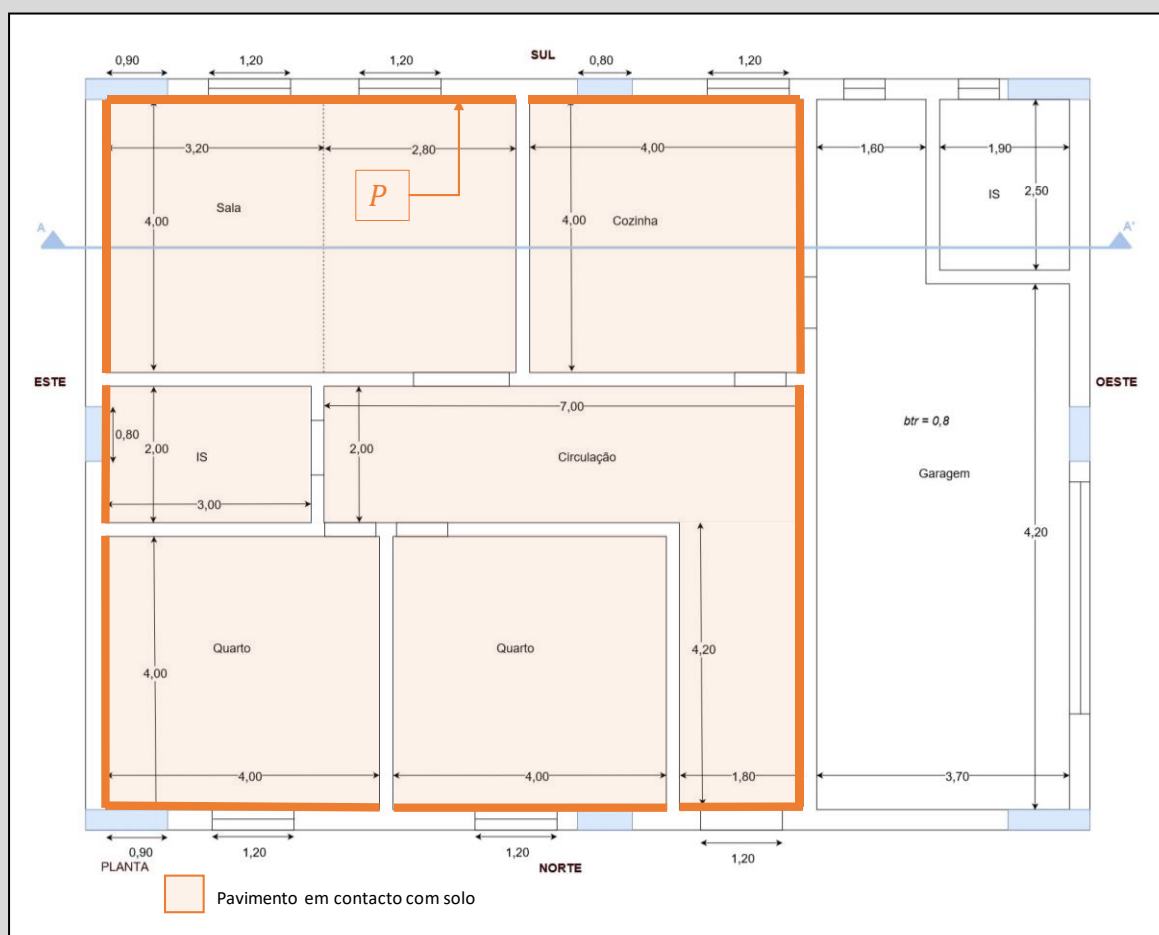
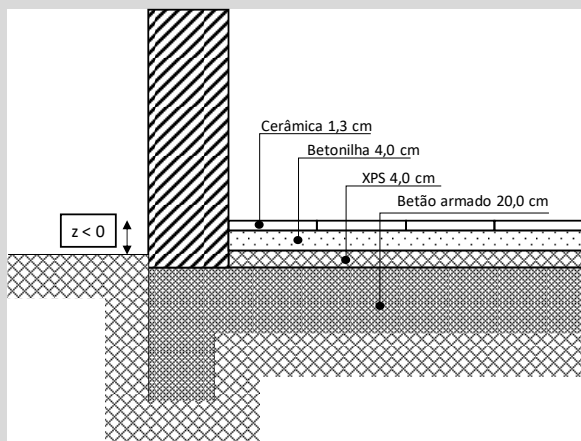
$$B' = \frac{A_p}{0,5 \times P}$$

Onde:

A_p – Área interior útil de pavimento, medida pelo interior [m²];

P – Perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total de parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior [m].

Exemplo: Determinar o coeficiente de transmissão térmica do pavimento em contacto com o solo U_{bf} de acordo com a imagem seguinte. O pavimento possui isolamento contínuo, cota exterior inferior a 0,5m de acordo com o seguinte pormenor:



Resolução: As tabelas 03 a 05 do Despacho n.º 15793-K/2013, identificam os valores de U_{bf} para as diferentes soluções de colocação de isolamento térmico em que:

Tabela 7 – Tabelas de U_{bf} (Retificada pela declaração de retificação n.º 127/2014).

Despacho n.º 15793-K/2013-Tabelas de U_{bf} (Retificada pela declaração de retificação n.º 127/2014)	
Tabela 03	Sem isolamento no pavimento, pavimento isolado em toda a sua dimensão
Tabela 04	Com isolamento horizontal no perímetro do pavimento
Tabela 05	Com isolamento vertical no perímetro do pavimento

No pormenor construtivo, existe isolamento de forma contínua em todo o pavimento pelo que o valor de U_{bf} é obtido através da Tabela 03, em função da resistência térmica do pavimento (R_f) e da dimensão característica do pavimento (B').

Cálculo de R_f :

- Cerâmica → **$e = 0,013$ m; $\lambda = 1,3$ [$W/(m \cdot ^\circ C)$]** ITE50, Quadro I.2, Revestimento de pisos ou de Paredes, “cerâmica vidrada/grés cerâmico $\rho = 2300$ kg/m³”
- Betonilha → **$e = 0,04$ m; $\lambda = 1,3$ [$W/(m \cdot ^\circ C)$]**, ITE50, Quadro I.2, Argamassas, “argamassas e rebocos tradicionais $\rho = 2300$ a 2400 kg/m³”
- XPS → **$e = 0,04$ m; $\lambda = 0,037$ [$W/(m \cdot ^\circ C)$]** ITE50, Quadro I.1, Isolantes Térmicos “poliestireno expandido extrudido (XPS) $\rho = 25$ a 40 kg/m³”
- Betão Armado → **$e = 0,20$ m; $\lambda = 2,0$ [$W/(m \cdot ^\circ C)$]**, ITE50, Quadro I.2, Betões, “betão armado inertes correntes com % armadura < 1%, $\rho = 2300$ a 2400 kg/m³”

$$R_f = \frac{0,013}{1,3} + \frac{0,04}{1,3} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,20}{2,0} = 1,22 \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$$

O perímetro exposto é determinado da seguinte forma (P):

Tabela 8 – Perímetro exposto por localização.

Localização	P (m)
Parede sul	3,20
	2,80
	4,00
Parede este	4,00
	2,00
	4,00
Parede norte	4,00
	4,00
	1,80
Garagem	4,00
	2,00
	4,20
P (total)	40,00

Assim, o fator B' pode ser determinado, obtendo-se:

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \times P} = \frac{99,56}{0,5 \times 40} = 4,98 \text{ m}$$

O pavimento tem uma resistência térmica de $1,22 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$ e um B' de $4,98 \text{ m}$, recorrendo à tabela 3 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtemos $U_{bf} = 0,44 \text{ [W/(m}^2\text{.}^\circ\text{C)]}$. Note-se que tanto o valor da resistência como o de B' encontram-se intercalados entre valores tabelados, sendo necessário efetuar três interpolações para obter o coeficiente de transmissão térmica

B'	$z \leq 0,5 \text{ m}$			
	$R_f \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$			
	0,5	1	2	≥ 3
3	0,65	0,57	0,32	0,24
4	0,57	0,52	0,3	0,23
6	0,47	0,43	0,27	0,21
10	0,35	0,32	0,22	0,18
15	0,27	0,25	0,18	0,15
≥ 20	0,22	0,21	0,16	0,13

Diagram illustrating interpolation steps:

- 1ª Interpolação:** Red box around 0,52 (B'=4, R_f=1) and 0,43 (B'=6, R_f=1). A red line connects them.
- 2ª Interpolação:** Green box around 0,3 (B'=4, R_f=2) and 0,27 (B'=6, R_f=2). A green line connects them.
- 3ª Interpolação:** Blue box around 0,48 (interpolated from 1ª) and 0,29 (interpolated from 2ª). A blue line connects them.

Figura 12 – Interpolações para determinação do coeficiente de transmissão térmica.

1ª Interpolação			2ª Interpolação		
4	0,52	0,48	4	0,30	0,29
4,98	X		4,98	X	
6	0,43		6	0,27	

3ª Interpolação		
1	0,48	0,44
1,22	X	
2	0,29	

Figura 13 – Resultados das Interpolações.

3.6 COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR - Ψ [W/(m.°C)]

Definição: O coeficiente de transmissão térmica linear, traduz a potência térmica que atravessa a ligação entre dois elementos construtivos, por 1 metro linear de comprimento da ligação, diferença de grau Célso [W/(m.°C)].

Uma ponte térmica linear corresponde à ligação de dois elementos construtivos exteriores ou em contacto com um espaço não útil com $b_{tr} > 0,7$ e é uma singularidade da envolvente em que o fluxo térmico é bidimensional ou tridimensional assimilada a uma perda térmica por unidade de comprimento (Ψ). A ponte térmica é quantificada multiplicando o valor de ψ pelo respetivo desenvolvimento.

As situações de ponte térmica linear, são impossíveis de eliminar e por esse motivo, no caso da avaliação energética de edifícios de habitação, em que a qualidade da envolvente tem um grande peso no desempenho energético têm de ser sempre contabilizadas. É possível, no entanto minimizar o seu efeito com recurso a melhores soluções construtivas.

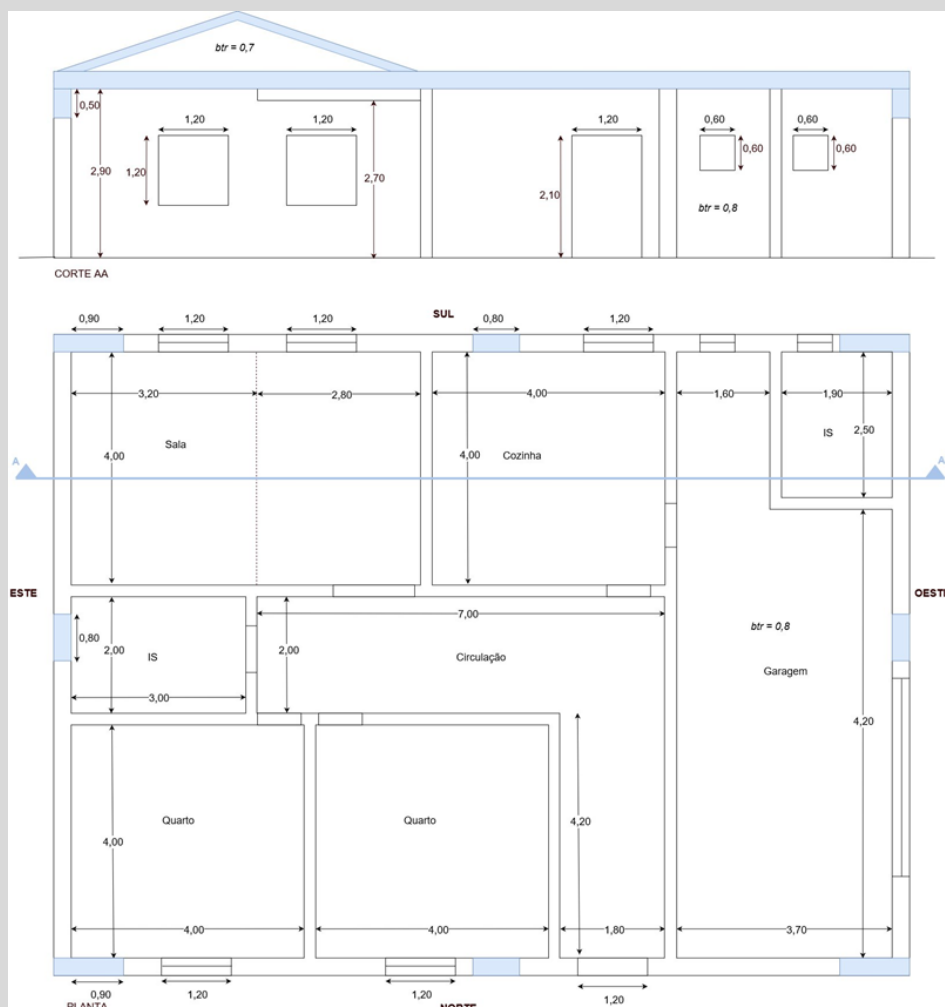
A metodologia de cálculo das PTL é comum aos edifícios de habitação e edifícios de comércio e serviços, no entanto, é possível no caso dos edifícios de comércio e serviços simplificar a contabilização de PTL agravando em 5% as necessidades de aquecimento⁷.

Os valores dos coeficientes de transmissão térmica linear Ψ , são valores tabelados e resultam da aplicação da metodologia prevista na Norma EN ISO 10211.

Na tabela 07 do Despacho n.º 15793-K/2013, encontram-se os valores de Ψ tipificados para as várias soluções de PTL, para as diferentes soluções construtivas com isolamento térmico. As soluções construtivas sem isolamento térmico, pressupõem-se apenas existir em edifícios existentes, nesse sentido, devem os valores de Ψ ser consultados na tabela 03 do Despacho n.º 15793-E/2013.

⁷ Tabela I.04 da Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro, na sua versão atual.

Exemplo: Determinar o contributo das pontes térmicas lineares nas transferências de calor para o exterior e para os espaços não úteis da seguinte habitação unifamiliar:



Considerando as seguintes soluções construtivas:

- **Parede exterior:** Pano simples com isolamento pelo exterior
- **Pontes térmicas planas:** Isolamento pelo exterior
- **Parede com garagem:** Pano simples com isolamento pelo exterior
- **Cobertura exterior e em contacto com desvão:** Isolamento sobre a laje de betão
- **Vão envidraçados:** Com caixa de estore, isolamento não contacta com caixilharia

Resolução: As PTL ocorrem quando uma das faces da fachada está em contacto com o exterior, ou com um espaço não útil com b_{tr} superior a 0,7.

Em todas as outras situações, paredes de compartimentação, paredes com edifício adjacente e paredes em contacto com espaços não úteis com b_{tr} igual ou inferior a 0,7, não são contabilizadas PTL.

Nesse sentido, as PTL devem ser divididas em PTL exteriores e PTL interiores ($b_{tr} > 0,7$), atendendo a que as segundas serão afetadas pelo respetivo coeficiente de redução de perdas do espaço não útil (b_{tr}).

Temos então a seguinte marcação de PTL exteriores e interiores:

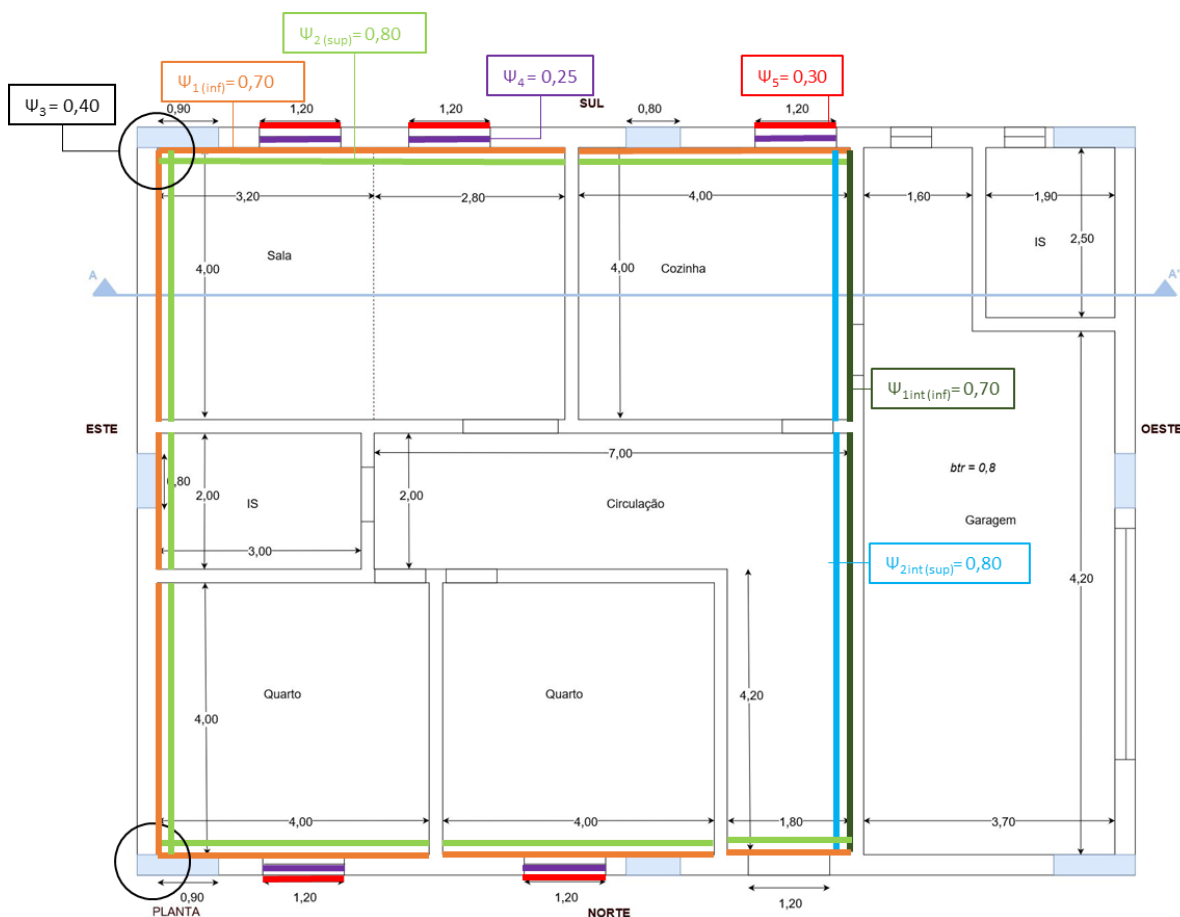


Figura 14 – Marcação das pontes térmicas lineares.

Tabela 9 – Identificação das pontes térmicas lineares exteriores.

Pntes térmicas lineares exteriores		
Tipo	Ψ (W/m. °C)	B (m)
$\Psi_{1(int)}$ - Fachada com pavimentos térreos (Paredes com isolamento pelo exterior)	0,70	$1,80+4,00+4,00+4,00+2,00+4,00+3,20+2,80+4,00 = \mathbf{29,80}$
$\Psi_{2(sup)}$ - Fachada com cobertura (Isolamento sobre a laje de cobertura e paredes com isolamento pelo exterior)	0,80	$1,80+4,00+4,00+4,00+2,00+4,00+3,20+2,80+4,00 = \mathbf{29,80}$
Ψ_3 – Duas paredes verticais em ângulo saliente (Paredes com isolamento pelo exterior)	0,40	$2,90+2,90 = \mathbf{5,80}$
Ψ_4 – Fachada com caixilharia (Isolante térmico não contacta com caixilharia, paredes com isolamento pelo exterior)	0,25	$4 \times (2 \times 1,20 + 2 \times 1,20) + (1,20 + 2 \times 2,10) = \mathbf{24,60}$
Ψ_5 – Zona da caixa de estores (Isolamento pelo exterior)	0,30	$4 \times 1,20 = \mathbf{4,8}$

Tabela 10 – Exemplo: Identificação das pontes térmicas lineares interiores.

Pntes térmicas lineares exteriores			
Tipo	Ψ (W/m. °C)	B (m)	b_{tr}
$\Psi_{1int(int)}$ - Fachada com pavimentos térreos (Paredes com isolamento pelo exterior)	0,70	$4,00+2,00+4,20 = \mathbf{10,20}$	0,8 (garagem)
$\Psi_{2int(sup)}$ - Fachada com cobertura (Isolamento sobre a laje de cobertura e paredes com isolamento pelo exterior)	0,80	$4,00+2,00+4,20 = \mathbf{10,20}$	0,8 (garagem)

3.7 COEFICIENTE DE REDUÇÃO DE PERDAS (BTR)

Definição: O coeficiente de redução de perdas traduz a redução da transmissão de calor para um espaço não útil em comparação com o exterior.

Uma vez que os espaços não úteis são caracterizados por terem temperaturas diferentes das temperaturas do interior dos edifícios, a temperatura no espaço não útil, varia entre a temperatura interior e a temperatura exterior.

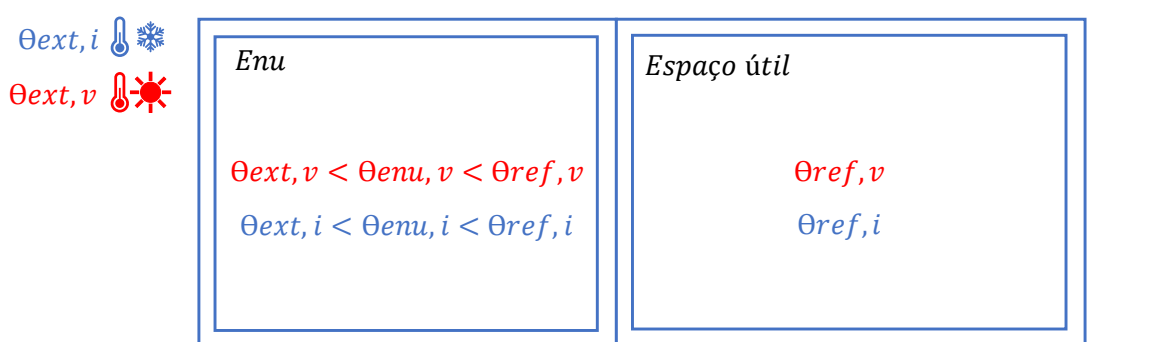


Figura 15 – Caracterização de espaços úteis e não úteis.

As trocas térmicas pelos elementos da envolvente em contacto com um espaço não útil, dão-se em função da temperatura no interior desse espaço, em que, quanto mais próxima for a temperatura do espaço não útil da temperatura exterior, maiores serão as trocas térmicas entre o edifício/fração e esse espaço.

O coeficiente de redução de perdas b_{tr} traduz a proximidade da temperatura do espaço não útil à temperatura do exterior ou à temperatura do espaço interior útil.

O valor varia entre 0 e 1, em que 0 significa que a temperatura do espaço não útil é igual à temperatura do espaço interior útil e 1 quando a temperatura do espaço não útil é igual à temperatura exterior.

O valor de b_{tr} é então obtido pela divisão da diferença das temperaturas do ar interior e do espaço não útil pela diferença das temperaturas interior e exterior, de acordo com a seguinte expressão.

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}}$$

$\nearrow$
 $\searrow$

Diferença de temperaturas
interior e do espaço não útil

$\searrow$
 $\nearrow$

Diferença de temperaturas
interior e exterior

Figura 16 – Coeficiente de redução de perdas.

Onde:

θ_{int} – Temperatura do ar interior do edifício;

θ_{ext} – Temperatura do ar do exterior;

θ_{enu} – Temperatura do ar do espaço não útil.

Na impossibilidade de conhecer com precisão o valor da temperatura do espaço não útil, encontra-se prevista, no Despacho n.º 15793-K/2013, uma metodologia para estimar o valor de b_{tr} , e que depende:

- Do Volume do espaço não útil (medido pelo interior do espaço não útil);
- Da existência de aberturas permanentes para o exterior;
- Da relação entre A_i/A_u .

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Figura 17 – Coeficiente de redução de perdas, Despacho n.º 15793-K/2013.

De acordo com a Tabela 22 do supracitado despacho, definem-se os seguintes parâmetros:

A_i – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil (*Inclui toda a envolvente do espaço não útil em contacto com os espaços interiores uteis, pertencentes ou não à mesma fração, medida pelo interior do espaço útil*);

A_u – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do exterior;

V_{enu} – Volume do espaço não útil;

f – Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

F – Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Envolvente do espaço não útil em contacto com o solo, ou em contacto com outros espaços não úteis não é considerada o valor de A_i nem para o valor de A_u .

3.7.1 B_{TR} DE ESPAÇOS FORTEMENTE VENTILADOS

Um espaço não útil é fortemente ventilado, se a relação entre a área de aberturas permanentes e o seu volume interior for superior a $0,05 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

$$\frac{\text{Área de aberturas permanentes}}{\text{Volume do espaço}} \geq 0,05 \text{ m}^2/\text{m}^3 \longrightarrow$$

Espaço fortemente
ventilado

Nos espaços não úteis fortemente ventilados, por via da ventilação a temperatura no seu interior é igual à temperatura do ar exterior. Desta forma, em espaços fortemente ventilados o **b_{tr} toma sempre o valor de 1.**

Nota: Nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco, no caso de uma construção nova, deverá a mesma possuir um vazio sanitário fortemente ventilado, ou qualquer outra solução, como medida preventiva de redução dos níveis de concentração de Radão.

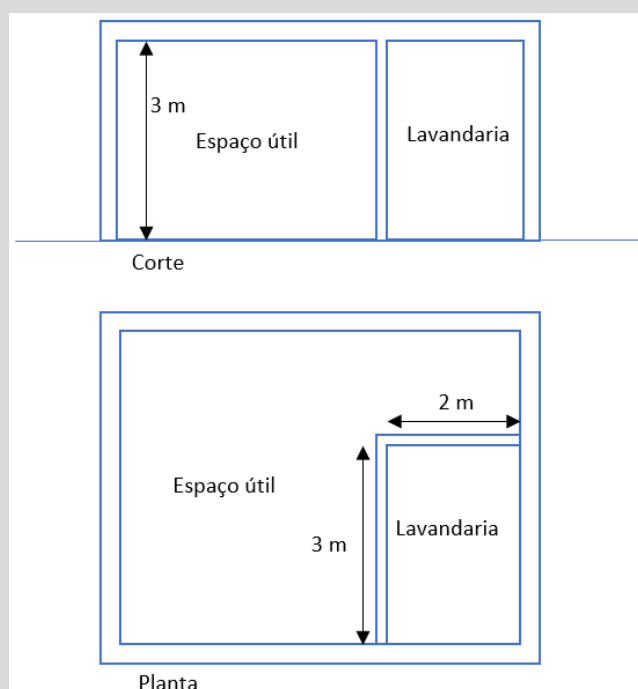
3.7.2 BTR DE EDIFÍCIOS ADJACENTES

Os edifícios adjacentes são considerados espaços não climatizados aquando da análise do desempenho energético de um edifício/fração.

Nesse sentido, importa igualmente definir qual o coeficiente de redução de perdas btr, desse tipo de espaços.

Para edifícios adjacentes, o coeficiente de redução de perdas btr toma sempre o valor de 0,6.

Exemplo: Determinar o coeficiente de redução de perdas de uma lavandaria de uma pequena loja, sabendo que a mesma possui cobertura exterior, pavimento em contacto com o solo, pé-direito de 3m e uma grelha de abertura fixa com 20x30cm, sendo a área de aberturas permanentes correspondente a 21% da área total.



Resolução: De acordo com a informação, a área de aberturas é de 0,0126 m² (0,2 x 0,3 x 21%), assim temos:

$$\frac{A_{aberturas}}{V_{enu}} = \frac{0,0126}{3 \times 2 \times 3} = 0,0007 < 0,05 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

Logo o espaço não é fortemente ventilado.

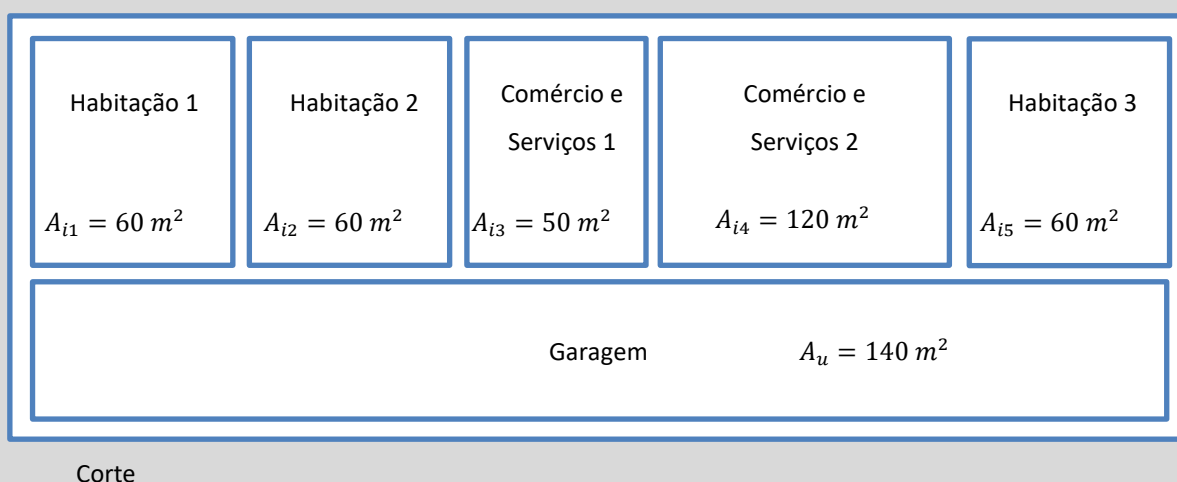
O b_{tr} tem de ser estimado de acordo com a metodologia prevista no Despacho n.º 15793-K/2013 em que:

- $V_{enu} = 3 \times 2 \times 3 = 18 \text{ m}^3$ $\longrightarrow V_{enu} \leq 50 \text{ m}^3$
- Com aberturas Permanentes $\longrightarrow F$
- $A_i = (3 + 2) \times 3 = 15 \text{ m}^2$
- $A_u = (3 + 2) \times 3 + 3 \times 2 = 21 \text{ m}^2$
- $A_i/A_u = 15/21 = 0,71$
- $b_{tr} = 0,9$

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50 \text{ m}^3$		$50 \text{ m}^3 < V_{enu} \leq 200 \text{ m}^3$		$V_{enu} > 200 \text{ m}^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Figura 18 – Determinação do coeficiente de redução de perdas.

Exemplo: Determinar o coeficiente de redução de perdas de uma garagem comum a 5 frações de um edifício (3 frações de habitação e 2 frações de comércio e serviços), encontrando-se na figura seguinte os valores de A_i de cada fração em contato com a garagem e o valor de A_u da garagem. O volume da garagem é superior a 200 m^3 e não existem aberturas de ventilação.



Resolução: O coeficiente de redução de perdas da garagem poderá tomar valores diferentes consoante a fração que se está a analisar, uma vez que o tipo de utilização (habitação ou comércio e serviços) do imóvel objeto de análise irá influenciar a definição de A_i .

O valor de A_i a considerar no cálculo do b_{tr} da garagem será a soma das áreas de todas as frações em contato com a garagem que se comportam como espaços úteis no âmbito da certificação energética da fração em análise.

Objeto de certificação: Habitação

As frações de habitação pressupõem-se climatizadas 24h/dia, pelo que as respetivas áreas dos elementos construtivos em contacto com o espaço não útil devem ser tidas em conta na parcela de A_i . No que refere às frações de comércio serviços, atendendo à indefinição do perfil de ocupação, não pode ser aplicado o mesmo raciocínio em relação ao número de horas em que o espaço se encontra climatizado, pelo que não se consideram as suas áreas na parcela de A_i .

Objeto de certificação: Comércio e Serviços

No que refere às frações de comércio serviços, apenas se deve quantificar na parcela de A_i a área de contacto da fração objeto de certificação, atendendo à indefinição do perfil de ocupação das restantes frações de comércio e serviços em contacto com o espaço para o qual está a ser calculado o b_{tr} .

Paralelamente, quando existem frações de habitação, estas pressupõem-se climatizadas 24h/dia, pelo que as respetivas áreas dos elementos construtivos em contacto com o espaço também devem ser tidas em conta na parcela de A_i .

Habitação 1)

Para a certificação energética da habitação 1 o valor a considerar em A_i corresponde à soma das áreas de contato da fração em questão e das restantes habitações com a garagem, não se considerando as áreas de contato com a garagem das 2 frações de comércio e serviços.

$$A_i = A_{i1} + A_{i2} + A_{i5} = 60 + 60 + 60 = 180 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{180}{140} = 1,29$$

O volume do espaço não útil é superior a 200 m³ e não existem aberturas de ventilação permanentemente abertas (f), pelo que, pela Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013, temos $b_{tr} = 0,8$.

Habitação 2)

Na certificação energética da habitação 2 o valor a considerar em A_i corresponde à soma das áreas de contato da fração em questão e das restantes habitações com a garagem, não se considerando as áreas de contato com a garagem das 2 frações de comércio e serviços.

$$A_i = A_{i1} + A_{i2} + A_{i5} = 60 + 60 + 60 = 180 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{180}{140} = 1,29$$

O volume do espaço não útil é superior a 200 m³ e não existem aberturas de ventilação permanentemente abertas (f), pelo que, pela Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013, temos $b_{tr} = 0,8$.

Comércio e Serviços 1)

Na certificação energética do comércio e serviços 1 o valor a considerar em A_i corresponde à soma das áreas de contato da própria fração e das 3 frações de habitações com a garagem, não se considerando a área de contato da fração de comércio e serviços 2.

$$A_i = A_{i1} + A_{i2} + A_{i3} + A_{i5} = 60 + 60 + 50 + 60 = 230 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{230}{140} = 1,64$$

O volume do espaço não útil é superior a 200 m³ e não existem aberturas de ventilação permanentemente abertas (f), pelo que, pela Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013, temos $b_{tr} = 0,8$.

Comércio e Serviços 2)

Na certificação energética do comércio e serviços 2 o valor a considerar em A_i corresponde à soma das áreas de contato da própria fração e das 3 habitações com a garagem, não se considerando a área de contato do comércio e serviços 1.

$$A_i = A_{i1} + A_{i2} + A_{i4} + A_{i5} = 60 + 60 + 120 + 60 = 300 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{300}{140} = 2,14$$

O volume do espaço não útil é superior a 200 m³ e não existem aberturas de ventilação permanentemente abertas (f), pelo que, pela Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013, temos $b_{tr} = 0,6$.

Habitação 3)

Na certificação energética da habitação 3, o valor a considerar em A_i corresponde à soma das áreas de contato da fração em questão e das restantes habitações com a garagem, não se considerando as áreas de contato com a garagem das 2 frações de comércio e serviços.

$$A_i = A_{i1} + A_{i2} + A_{i5} = 60 + 60 + 60 = 180 \text{ m}^2$$

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{180}{140} = 1,29$$

O volume do espaço não útil é superior a 200 m³ e não existem aberturas de ventilação permanentemente abertas (f), pelo que, pela Tabela 22 do Despacho n.º 15793-K/2013, temos $b_{tr} = 0,8$.

4. INÉRCIA TÉRMICA

Definição: A inércia térmica (I_t) interior de uma fração, traduz a capacidade que essa fração tem de reter o calor, por ação da capacidade de armazenamento e condução de calor de cada um dos elementos construtivos.

A metodologia de cálculo da inércia térmica está definida na Secção 6 do Despacho n.º 15793-K/2013.

A inércia térmica (I_t) depende da área útil da fração (A_p), da massa superficial útil (M_{si}) dos elementos construtivos e da capacidade de condução de calor dos elementos de revestimento traduzida no fator(r_i).

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \times r_i \times S_i}{A_p} \text{ kg/m}^2$$

Em que:

M_{si} - Massa superficial útil do elemento construtivo i (kg/m^2);

r_i - Fator de redução de M_{si} (depende da resistência térmica do elemento de revestimento R ($\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}/\text{W}$);

S_i - Área da superfície interior do elemento i (m^2);

A_p - Área útil de pavimento (m^2).

A inércia divide-se em três classes, em que:

Tabela 11 – Classes de Inércia térmica.

Classe de Inércia Térmica	I_t [kg/m^2]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t < 400$

4.1 MASSA SUPERFICIAL ÚTIL, (M_{si})

Definição: A massa superficial útil de um elemento construtivo (M_{si}), define-se como a capacidade útil de armazenamento e restituição de calor desse elemento e é dada em kg/m^2 .construtivos.

O valor de **M_{si}** resulta do somatório das massas de cada um dos elementos que constitui a envolvente, considerando-se, para esse efeito, apenas os elementos que se situam do isolamento térmico para o interior de fração. Por cada elemento da envolvente, M_{si} pode tomar um valor até 150 kg/m^2 .

M_{si} depende do posicionamento do isolamento térmico (interior, exterior ou intermédio) e da localização do elemento na fração (EL1, EL2 e EL3), em que:

EL1 - Elementos da envolvente exterior ou da envolvente interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;

EL2 - Elementos em contacto com o solo;

EL3 - Elementos de compartimentação interior da fração autónoma.

Tabela 12 – EL1 - Elementos da envolvente exterior ou interior.

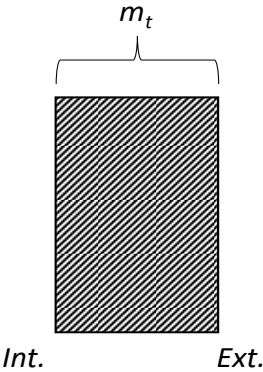
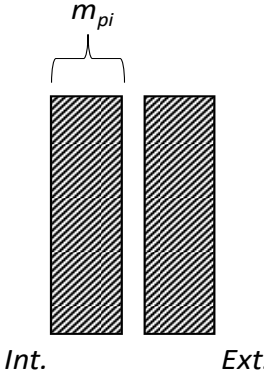
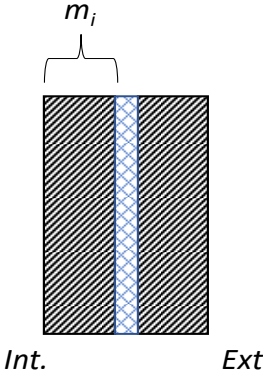
a) Sem isolamento térmico e sem caixa de ar	b) Sem isolamento térmico e com caixa de ar	c) Com Isolamento Térmico (material com $\lambda < 0,065$ W/(m.°C) ou $R > 0,3$ (m².°C)/W)
 m_t Int. Ext.	 m_{pi} Int. Ext.	 m_i Int. Ext.
$M_{si} = \frac{m_t}{2}$	$M_{si} = m_{pi}$	$M_{si} = m_i$
m_t - Massa total do elemento	m_{pi} - Massa do pano interior. Massa do elemento interior, até à caixa de ar	m_i - Massa do elemento interior, até ao isolamento térmico
$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$

Tabela 13 – EL2 - Elementos em contacto com o solo (Elementos verticais ou horizontais).

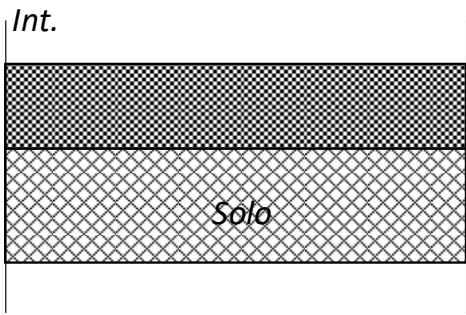
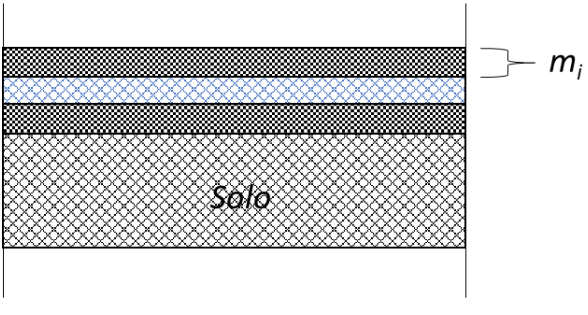
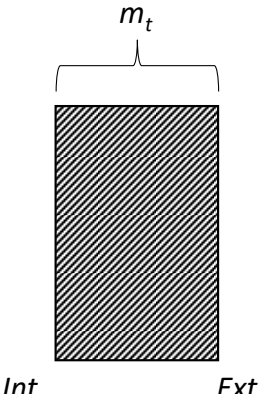
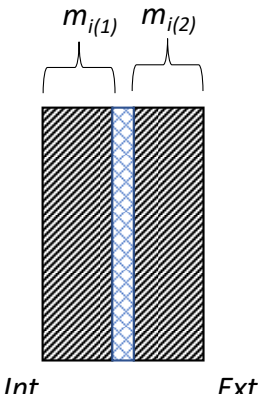
a) Sem isolamento térmico	b) Com isolamento térmico (material com $\lambda < 0,065 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ ou $R > 0,3 \text{ (m}^2\text{.}^\circ\text{C)/W}$
	
$M_{si} = 150 \text{ kg/m}^2$	$M_{si} = m_i$
$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$	m_i - Massa do elemento interior, até ao isolamento térmico
	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$

Tabela 14 – EL3 - Elementos de compartimentação interior da fração autónoma.

a) Sem isolamento térmico	b) Com isolamento térmico (material com $\lambda < 0,065 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$ ou $R > 0,3 \text{ (m}^2\cdot^\circ\text{C)/W}$
	
$M_{si} = m_t$	Avaliar as duas camadas de forma isolada $M_{si(1)} = m_{i(1)}$ $M_{si(2)} = m_{i(2)}$
m_t - Massa total do elemento	m_i - Massa do elemento interior, até ao isolamento térmico
$M_{si} \leq 300 \text{ kg/m}^2$	$M_{si(1)} \leq 150 \text{ kg/m}^2$ $M_{si(2)} \leq 150 \text{ kg/m}^2$

4.2 MASSA SUPERFICIAL ÚTIL, (M_{Si})

O fator de redução da massa superficial (r_i), é um parâmetro que afeta a massa superficial de um elemento construtivo e que permite avaliar de que forma o tipo de revestimento influencia a capacidade de absorção de calor dos materiais que compõem esse elemento.

O fator r_i depende por isso das características do material aplicado como revestimento, nomeadamente da sua resistência térmica.

Quanto maior a resistência térmica do material de revestimento, maior obstrução à transmissão de calor, menor a capacidade de armazenamento e restituição de calor do elemento construtivo.

O fator r_i , toma os seguintes valores:

Tabela 15 – Fator de redução da massa superficial.

Elemento Construtivo		R ($m^2 \cdot ^\circ C/W$) do elemento de revestimento	Fator de correção (r_i)	Massa superficial útil (a considerar no cálculo da inércia)
EL1 e EL2		$R < 0,14$	1,0	$1,0 \times M_{Si}$
		$0,14 \leq R \leq 0,30$	0,5	$0,5 \times M_{Si}$
		$R > 0,30$	0	$0 \times M_{Si}$
EL3	Sem isolamento	$R < 0,14$ em ambas as faces	1,0	$1,0 \times M_{Si}$
		$0,14 \leq R \leq 0,30$ em ambas as faces	0,5	$0,5 \times M_{Si}$
		$R > 0,30$ em ambas as faces	0	$0 \times M_{Si}$
		$R < 0,14$ numa face e $0,14 \leq R \leq 0,30$ na outra	0,75	$0,75 \times M_{Si}$
		$R < 0,14$ numa face e $R > 0,30$ na outra	0,50	$0,5 \times M_{Si}$

Elemento Construtivo		R (m ² .°C/W) do elemento de revestimento	Fator de correção (r _i)	Massa superficial útil (a considerar no cálculo da inércia)
		0,14 ≤ R ≤ 0,30 numa face e R > 0,30 na outra	0,25	0,25 × M _{si}
	Com isolamento ⁽¹⁾	R < 0,14	1,0	1,0 × M _{si}
		0,14 ≤ R ≤ 0,30	0,5	0,5 × M _{si}
		0,14 ≤ R ≤ 0,30	0	0 × M _{si}

(1) Avaliado em cada uma das faces de forma independente.

Após análise da tabela, é possível verificar que nas situações em que são aplicados elementos de revestimento na face interior com resistências térmicas elevadas, diminuámos a inércia térmica das frações.

Por outro lado, quando é adotada uma solução de isolamento térmico pelo interior, a quantidade de massa superficial útil resume-se à massa da camada de revestimento, ou seja, reduz igualmente o valor da inércia térmica.

Estas considerações permitiram criar as regras de simplificação para os edifícios existentes, como ferramenta para determinar a classe de inércia térmica quando não é possível identificar as camadas que compõem os elementos construtivos.

Num edifício existente, na falta de informação acerca da constituição dos elementos de construção, podem-se então recorrer às regras de simplificação previstas na legislação:

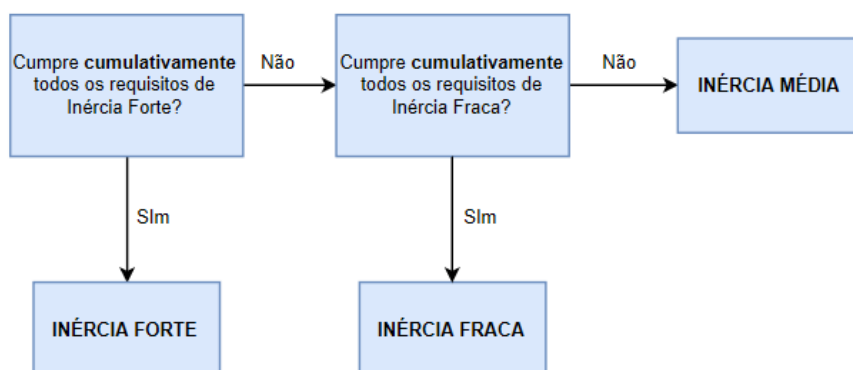


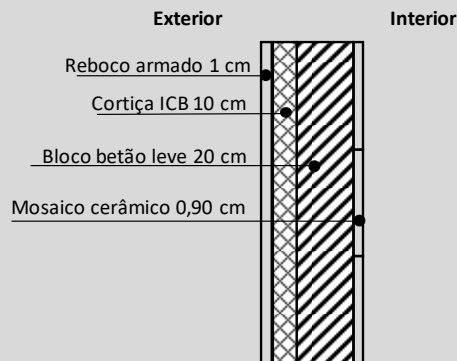
Figura 19 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica.

Tabela 16 – Regras de simplificação para determinação da classe de inércia térmica.

Requisitos	
Inércia Forte	Sem soluções de isolamento térmico pelo interior
	Pavimento e teto em betão armado ou pré-esforçado
	Revestimento de teto em estuque ou reboco
	Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pelo, exceto pavimentos flutuantes
	Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco
	Paredes do envolvente interior em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco
Inércia Fraca	Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura)
	Revestimento de piso tipo flutuante ou pavimento de madeira
	Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação
Inércia Média	Caso não se verifiquem cumulativamente os requisitos de inércia Forte ou Fraca

- Na dúvida entre inércia Forte ou Média, considerar inércia **Média**;
- Na dúvida entre inércia Média ou Fraca, considerar inércia **Fraca**.

Exemplo: Determinar o contributo para a inércia térmica (M_{si}) da seguinte solução construtiva de parede em contacto com o exterior:



Resolução: O contributo da solução construtiva no cálculo da inércia térmica é determinado pela expressão $M_{si} \times r_i$.

O fator de redução da massa superficial útil r_i depende da resistência térmica do elemento de revestimento, neste caso da resistência térmica do mosaico cerâmico:

$$R_{\text{mosaico}} = \frac{0,009}{1,3} = 0,007 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W} < 0,14 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$$

↓

$r_i = 1$

Como a solução construtiva pertence à envolvente exterior (EL1) e tem isolamento térmico, apenas se contabiliza a massa dos elementos até ao isolamento térmico, ou seja $M_{si} = m_i$

- Peso do mosaico = $2300 \text{ kg/m}^3 \times 0,009 = \mathbf{20,7 \text{ kg/m}^2}$ ($\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$, fonte ITE50);
- Peso da parede em bloco de betão leve (inclui argamassa de assentamento) = **285,52 kg/m²**

(fonte: Tabelas Técnicas).

$$M_{si} = 20,7 + 285,52 = 306,22 \text{ kg/m}^2, \text{ Máximo} = 150 \text{ kg/m}^2, \text{ logo}$$

$$M_{si} \times r_i = 150 \times 1 = 150 \text{ kg/m}^2$$

5. TRANSFERÊNCIAS E GANHOS PELA ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

Os vãos envidraçados apresentam uma grande influência nos ganhos térmicos dos edifícios. A sua composição (vidro mais caixilho) apresenta um comportamento distinto de uma envolvente opaca devido à maior capacidade de captar ganhos por radiação, sendo igualmente contabilizados os efeitos de condução e convecção. Estes ganhos são determinados através da contabilização de dois parâmetros: o fator solar e o coeficiente de transmissão térmica. O primeiro representa a quantidade de radiação que atravessa o vidro, podendo contabilizar o efeito das proteções solares, enquanto o segundo representa o efeito das trocas de calor por convecção e condução, tendo em conta as resistências térmicas e as espessuras dos elementos.

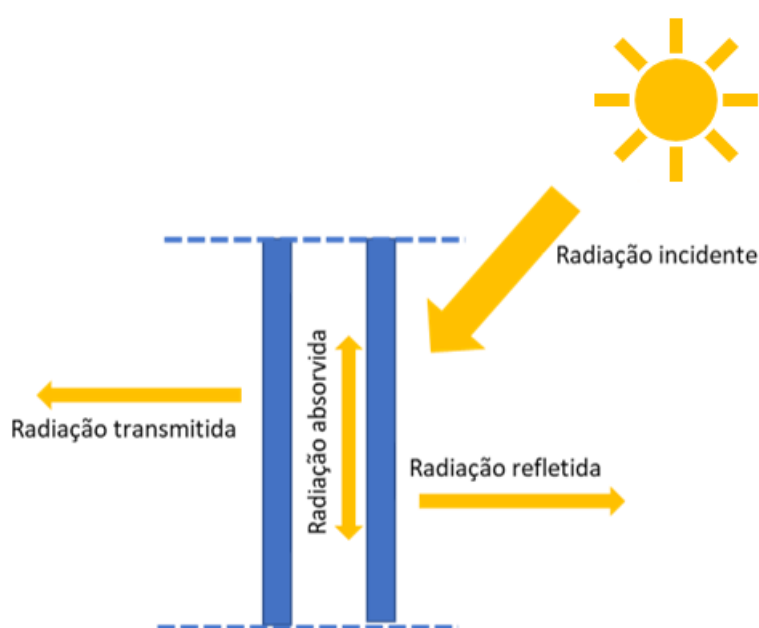


Figura 20 – Representação do fator solar.

Radiação incidente: é a quantidade de energia proveniente pela incidência da radiação solar no vão envidraçado, podendo esta ser consultada, para as estações de aquecimento e arrefecimento, no Despacho n.º 15793-F/2013;

Radiação refletida: é a quantidade de energia refletida após a incidência da radiação solar no vão envidraçado, variando esta com o tipo de vidro, com a tonalidade e com respetivo grau de reflexão, isto é, um vidro refletante/colorido irá refletir uma maior quantidade de radiação em relação a um vidro incolor.

Radiação absorvida: é a quantidade de energia que o vão consegue absorver devido às suas características, em especial a sua massa e a existência de caixa-de-ar (vidro duplo).

Radiação transmitida: é a quantidade de energia que efetivamente entra no espaço afeto ao vão envidraçado.

Nota para que as proteções solares influenciam a quantidade de energia para os vários tipos de radiação referidos, podendo, quando opacas e pelo exterior, constituir um bloqueio total à radiação solar, sendo a transmissão de energia apenas efetuada pelos fenómenos de condução e convecção.

5.1 COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

O coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados tem em conta o conjunto vidro mais caixilho, designando-se por U_w . Usualmente, o valor deste parâmetro é fornecido pelo fabricante ou pode consultar-se na etiqueta da janela. Caso sejam fornecidos separadamente os valores do coeficiente de transmissão térmica do vidro e do caixilho, pode determinar-se o valor de U_w recorrendo à seguinte expressão:

$$U_w = \frac{A_f \cdot U_f + A_g \cdot U_g + l_g \cdot \psi_g}{A_f + A_g} \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Onde:

U_w – Coeficiente de transmissão térmica da janela [W/(m².°C)];

U_f – Coeficiente de transmissão térmica do caixilho [W/(m².°C)];

A_f – Área do caixilho [m²];

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro [W/(m².°C)];

A_g – Área do vidro [m²];

l_g – Perímetro de ligação entre o caixilho e o vidro [m];

ψ_g – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre o caixilho e o vidro [W/(m.°C)].

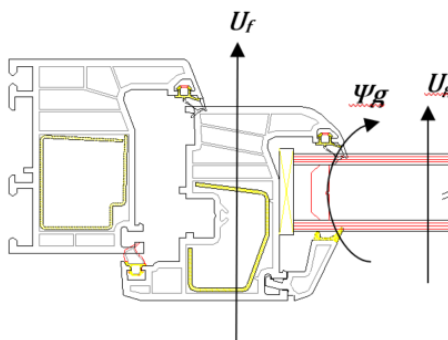


Figura 21 – Coeficiente de transmissão térmica de envidraçados.

A ISO 10077-1 estabelece o valor do coeficiente de transmissão térmica linear para os diferentes tipos de vidro, variando este com o tipo de caixilharia.

Tabela 17 – ψ_g de acordo com o tipo de vidro (ISO 10077-1).

Classe de Inércia Térmica	Valor do coeficiente de transmissão térmica linear para diferentes tipos de vidro ψ_g [W/(m.°C)]		
	Vidros duplos ou triplos não revestidos (lâmina de ar ou gás)	Vidros duplos ^(a) ou triplos ^(b) não revestidos (lâmina de ar ou gás)	Vidro simples
Madeira ou PVC	0,06	0,08	0
Metálica com corte térmico	0,08	0,11	
Metálica sem corte térmico	0,02	0,05	

(a) – Um painel revestido para vidros duplos.

(b) – Dois painéis revestidos para vidros triplos.

Nos casos em que o vão envidraçado possua duas janelas é necessário determinar o valor de U_w para o conjunto, recorrendo-se à seguinte equação, considerando-se assim o efeito da caixa-de-ar criada entre as duas janelas:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{wi}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{we}} - R_{si}}$$

Onde:

U_{wi} – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado interior [W/(m².°C)];

U_{we} – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado exterior [W/(m².°C)];

R_s – Resistência térmica da caixa-de-ar [(m².°C)/W];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [(m².°C)/W];

R_{si} – Resistência térmica superficial interior [(m².°C)/W].

As fórmulas apresentadas são referentes a vãos envidraçados verticais exteriores. Caso o vão seja interior ou se encontre na posição horizontal será necessário efetuar a correção, atendendo às resistências superficiais. Exemplificando, caso um vão vertical se encontre em contacto com um espaço não útil, o valor da resistência térmica superficial exterior será substituído pela resistência térmica superficial interior pelo que deve ser feito um acréscimo na resistência de 0,09 (m².°C)/W (0,13-0,04), conforme esclarecido no subcapítulo 3.2 *Resistências térmicas superficiais (R_{si}, R_{se})*, deste documento.

Exemplo: Determinar o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado vertical duplo exterior possuindo a janela interior um coeficiente de transmissão térmica de 4,3 W/(m².°C), a janela exterior de 4,5 W/(m².°C) e a distância entre ambas é de 20 cm.

Resolução:

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{wi}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{we}} - R_{si}}$$
$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{4,3} - 0,04 + 0,18 + \frac{1}{4,5} - 0,13} = 2,15 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$$

Exemplo: Qual o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado em contacto com um espaço não aquecido sabendo que é composto por caixilharia metálica fixa sem corte térmico e vidro simples?

Resolução:

Recorrendo ao ITE 50, temos que para o vão em causa $U_w = 6,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Atendendo a que para a determinação do coeficiente foram tidas em conta as resistências térmicas superficiais interior e exterior, respetivamente 0,13 e 0,04 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$, para determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão interior, a resistência térmica superficial exterior dará lugar a uma interior, existindo um acréscimo de 0,09 ($\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$ (0,13-0,04). Assim:

$$U_{w(lna)} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + 0,09} = \frac{1}{\frac{1}{6,00} + 0,09} = 3,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

5.1.1 EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Na habitação, caso os vãos envidraçados possuam proteções solares, considera-se que estas se encontram ativadas durante 12 horas (período noturno), definindo-se assim o coeficiente U_n . A contabilização das 24 horas do dia é então subdividida considerando 12 horas sem proteções ativadas e 12 horas com as proteções ativadas, definindo-se o coeficiente de transmissão térmica dia e noite U_{wdn} (média entre os coeficientes de transmissão térmica da janela U_w e da janela com a proteção solar ativada no período noturno U_n).

O valor de U_n é determinado considerando a resistência térmica que a proteção solar garante, resultando na seguinte equação:

$$U_n = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$$

Onde:

U_n – Coeficiente de transmissão térmica da janela com os dispositivos de proteção solar ativados [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$];

ΔR – Resistência térmica adicional devido à proteção solar ativada [$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$].

Nas tabelas seguintes podem consultar-se os valores de ΔR e o tipo de permeabilidade por tipo de proteção solar.

Tabela 18 – Resistência térmica adicional devido à proteção solar ativada.

Tipo de proteção solar	ΔR (m².°C)/W
Persiana de réguas metálicas	0,09
Persiana de réguas de madeira ou plástico sem enchimento de espuma	0,12
Persiana de réguas de plástico preenchida com espuma	0,13

Tabela 19 – Permeabilidade ao ar por tipo de proteção solar.

Tipo de proteção solar	Permeabilidade ao ar
Proteção solar exterior	
Portada de madeira (opaca)	Baixa
Persiana de réguas de madeira	
Persiana de réguas metálicas ou plásticas	
Estore veneziano de lâminas de madeira	Elevada
Estore veneziano de lâminas metálicas	
Estore de lona opaca	
Estore de lona pouco transparente	
Estore de lona muito transparente	
Proteção solar interior	
Estore de lâminas	Elevada
Cortina opacas	Cortina interior opaca
Cortina ligeiramente transparente	Sem proteção
Cortina transparente	
Cortina muito transparente	
Portada de madeira (opaca)	Baixa
Persiana de madeira	

Tal como referido anteriormente, no âmbito do REH, é considerado que os dispositivos de proteção solar se encontram ativos metade do dia, resultando o coeficiente U_{wdn} na média entre U_w e U_n , resultando na seguinte equação.

$$U_{wdn} = \frac{U_w + U_n}{2} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

No âmbito do REH, para verificação do cumprimento dos requisitos, poderá ser utilizado o coeficiente de transmissão térmica tendo em conta o contributo dos dispositivos de proteção (nota 2, da tabela I.05B, da Portaria n.º 379-A/2015⁸, de 29 de outubro).

Exemplo: Determine o coeficiente de transmissão térmica U_{wdn} de um vão envidraçado vertical exterior com caixilharia metálica com corte térmico e vidro duplo e caixa-de-ar de 6mm, possuindo uma proteção solar exterior por intermédio de persiana de régua de plástico.

Resolução:

Recorrendo ao ITE 50, temos que para o vão em causa $U_w = 3,70 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Não se encontrando descrito se a proteção solar possui, ou não, preenchimento com espuma, considera-se a situação mais desfavorável, obtendo-se $\Delta R = 0,12 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$. Assim:

$$U_n = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} = \frac{1}{\frac{1}{3,70} + 0,12} = 2,56 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$$
$$U_{wdn} = \frac{U_w + U_n}{2} = \frac{3,70 + 2,56}{2} = 3,13 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$$

⁸ 1ª alteração à Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro

5.1.2 EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS

Os edifícios de comércio e serviços podem apresentar diversas tipologias, considerando-se para efeitos de cálculo os coeficientes U_w ou U_{wdn} mediante as mesmas. Exemplificando, no caso de um hotel, um hospital ou um lar de idosos, na zona dos quartos, dever-se-á aplicar, para efeitos de cálculo, o coeficiente de transmissão térmica U_{wdn} , refletindo-se assim o uso das proteções solares durante o período noturno. Cabe ao PQ avaliar o uso específico de cada espaço e, em casos onde se verifique ocupação noturna e ativação dos dispositivos de sombreamento, aplicar o coeficiente de transmissão térmica dia e noite.

Note-se que esta metodologia é apenas aplicável para efeitos de cálculo, não podendo ser utilizada para verificação do cumprimento dos requisitos.

5.2 FATOR SOLAR

O fator solar do vidro ($g_{\perp,vi}$) traduz a razão entre a energia solar transmitida para o interior através do vidro e a radiação solar nele incidente na direção normal à respetiva superfície, ou seja:

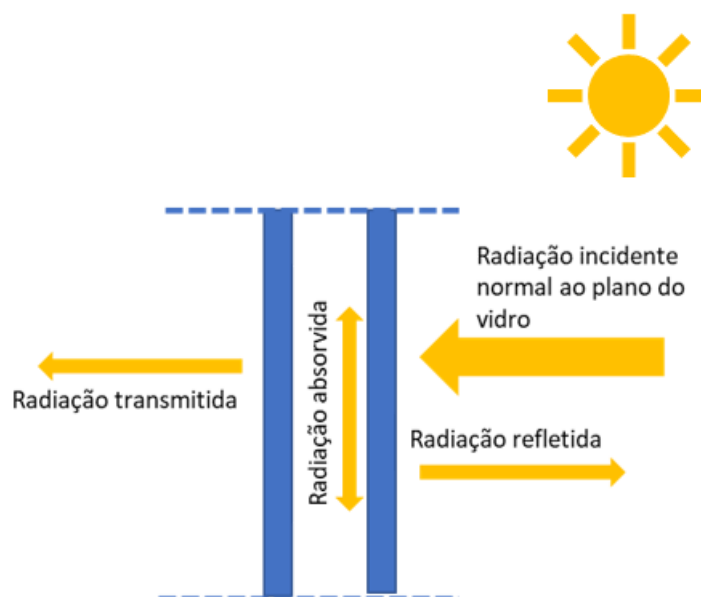


Figura 22 – Fator solar.

$$g_{\perp,vi}(\text{fator solar}) = \frac{\text{radiação transmitida}}{\text{radiação incidente normal ao plano}}$$

O fator solar indica-nos a percentagem de energia por radiação que efetivamente consegue entrar no espaço, contabilizando o efeito do vão envidraçado e dos sistemas de proteção solar, caso existam.

O fator $g_{\perp,vi}$ é normalmente obtido por ensaio de acordo com a norma EN410 e fornecido pelo fabricante.

Na ausência de informação do fabricante, o valor de $g_{\perp,vi}$ pode ser obtido por consulta da Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013 através das características do vidro.

O Despacho n.º 15793-K/2013 define o fator solar global de um vão envidraçado g_T , isto é, o fator solar para o conjunto da janela e de todas as proteções solares existentes ativadas, calculando-se de acordo com as fórmulas existentes no número 6, do Ponto 7, do supramencionado despacho, variando com o tipo de vidro (simples ou duplo).

Vidro Simples
$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85}$$

Vidro Duplo
$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75}$$

Onde:

g_{Tvc} – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente ou móvel, totalmente ativado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013;

$g_{\perp,vi}$ – Fator solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro, conforme informação do fabricante.

De acordo com o ponto 9, do capítulo 7, do Despacho n.º 15793-K/2013, entende-se como vidro corrente “o vidro simples incolor de 6mm ou o vidro duplo incolor com um pano de 4 a 8 mm e o outro pano de 5mm”.

Note-se que nos produtórios das equações anteriores, deverão ser consideradas as proteções solares permanentes existentes, do exterior para o interior, até à primeira proteção solar opaca, inclusive. Caso exista uma proteção solar opaca exterior, o produtório deve ser efetuado até esta, sem ser afetado pelo fator solar do vidro $g_{\perp,vi}$.

Para verificação se uma proteção solar é considerada opaca, poderá recorrer-se às tabelas seguintes, constantes na pergunta K31 das Perguntas & Respostas.

Tabela 20 – Tipos de proteções solares exteriores.

Proteções Exteriores		
Portada de madeira		Opaca
Persiana	Réguas de madeira	Opaca
	Réguas metálicas ou plásticas	
Estores veneziano ou Portadas de lâminas fixas	Lâminas de madeira	Não Opaca
	Lâminas metálicas	
Estore	Lona opaca	Não Opaca
	Lona pouco transparente	
	Lona muito transparente	

Tabela 21 – Tipos de proteções solares interiores.

Proteções Exteriores		
Estores de lâminas		Não Opaca
Cortinas	Opacas	Opaca
	Ligeiramente transparente	Não Opaca
	Transparente	
	Muito transparente	
Portadas de madeira (opacas)		Opaca
Persianas de madeira		Não Opaca
Proteção entre dois vidros	Estore veneziano	Não Opaca
	Lâminas delgadas	
Proteções entre as duas caixilharias numa janela dupla	Estore veneziano	Não Opaca
	Lâminas delgadas	

No Despacho n.º 15793-K/2013 é também definido o fator solar g_{Tp} como o fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes. O cálculo deste fator é em tudo similar ao fator g_T com a particularidade de apenas considerar as proteções solares permanentes, ignorando as móveis.

Exemplo: Determinar o fator solar global g_T de um vão envidraçado exterior com vidro duplo colorido na massa 4mm e incolor 4mm, possuindo uma proteção solar exterior por intermédio de estore veneziano de lâminas metálicas e pelo interior por uma cortina transparente de cor clara.

Resolução:

O vão envidraçado possui duas proteções solares, uma pelo interior e outra pelo exterior, ambas não opacas. Do enunciado e por recurso às tabelas 12 e 13 do Despacho n.º 15793-K/2013, temos:

$$g_{\perp,vi} = 0,60$$

$$g_{Tvc(estore)} = 0,09 \quad g_{Tvc(cortina)} = 0,39$$

$$g_T = g_{\perp,vi} \times \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} = 0,60 \times \frac{0,09}{0,75} \times \frac{0,39}{0,75} = 0,04$$

Exemplo: Determinar o fator solar global g_T de um vão envidraçado exterior com vidro duplo colorido na massa 4mm e incolor 4mm, possuindo uma proteção solar exterior por persiana de réguas metálicas de cor clara e pelo interior por uma cortina transparente de cor clara.

Resolução:

O vão envidraçado possui duas proteções solares, uma pelo interior e outra pelo exterior. Como a proteção exterior é opaca, o fator solar é retirado diretamente da tabela 13 do Despacho n.º 15793-K/2013, obtendo-se:

$$g_T = 0,04$$

5.2.1 EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

No âmbito do REH, encontram-se definidas duas estações, a de aquecimento e a de arrefecimento, variando a determinação do fator solar com as mesmas.

- **Estação de aquecimento**

Na estação de aquecimento, para maximizar os ganhos solares, considera-se que as proteções solares móveis nunca se encontram ativadas, existindo apenas a particularidade referente às proteções solares fixas ou permanentes, que pelo seu caráter permanente não podem ser ignoradas no cálculo. Assim, caso o edifício possua proteções solares permanentes, o fator solar de inverno toma o valor do fator solar global considerando todas as proteções solares permanentes. Caso estas não existam, o fator solar de inverno é igual ao fator solar do vidro (para uma radiação incidente perpendicularmente ao mesmo) multiplicado por 0,90, significando este valor a seletividade angular, isto é, traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta.

Existência de proteções solares permanentes $\longrightarrow g_i = g_{Tp}$

Inexistência de proteções solares permanentes $\longrightarrow g_i = 0,90 \times g_{\perp,vi}$

Na particularidade dos vãos envidraçados interiores, adjacentes com espaços não úteis que possuam igualmente vãos envidraçados (marquises, estufas, átrios, entre outros), a determinação do fator solar dos vãos interior e do espaço não útil obedece às mesmas regras, exemplificando-se nas figuras seguintes a implicação da existência, ou não, de proteções solares permanentes.

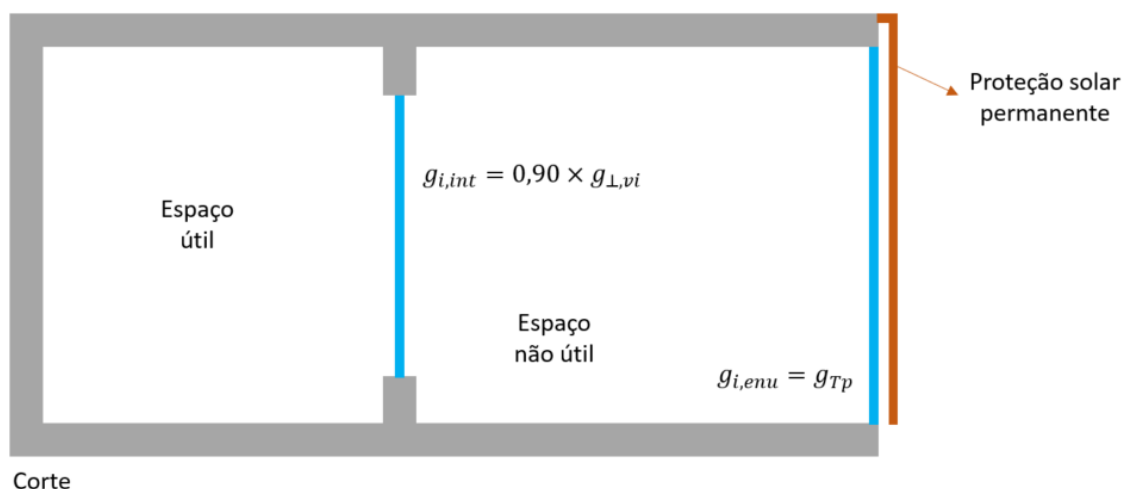


Figura 23 – Proteção solar permanente.

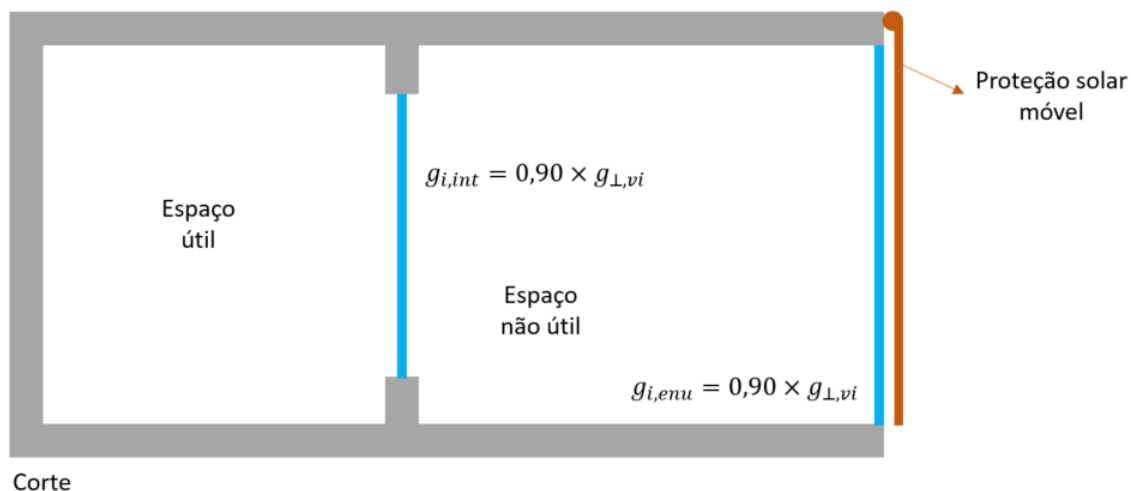


Figura 24 – Proteção solar móvel.

Exemplo: Determinar o fator solar de inverno de um vão envidraçado exterior com vidro duplo colorido na massa 4mm e incolor 4mm, protegido exteriormente por uma lona opaca de cor clara e por uma persiana de réguas metálicas de cor média.

Resolução:

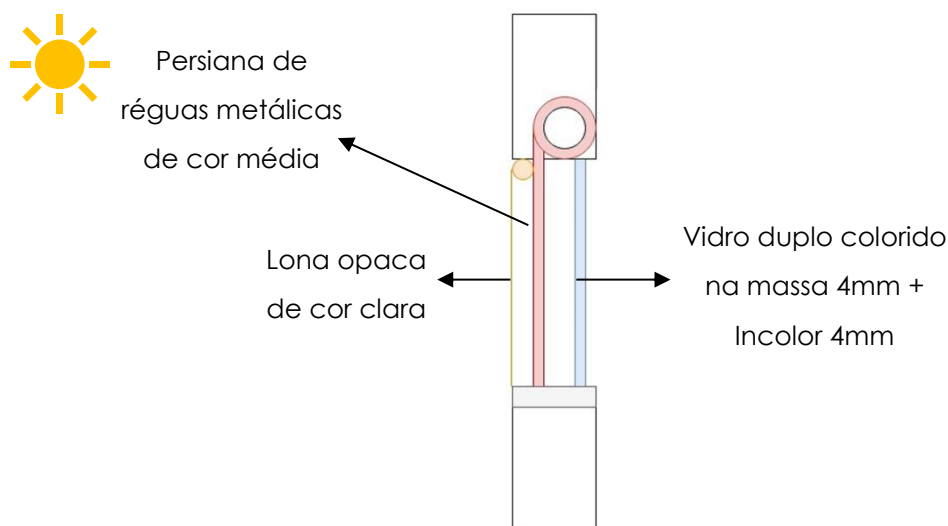


Figura 25 – Pormenor Vão

O vão envidraçado não possui proteções solares permanentes pelo que, na estação de aquecimento, o fator solar será obtido pela multiplicação do fator solar do vidro por 0,90. Não

tendo informações do fabricante ou etiqueta energética deste vão envidraçado, recorrendo à tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013, temos que $g_{\perp,vi} = 0,60$. Assim:

$$g_i = 0,90 \times g_{\perp,vi} = 0,90 \times 0,60 = 0,54$$

Exemplo: Determinar o fator solar de inverno do vão de uma fração autónoma de habitação, com vidro duplo incolor (4 mm + 4 mm), protegido exteriormente com um estore veneziano fixo de lâminas metálicas fixas de cor média.

Resolução:

O vão envidraçado possui proteções solares permanentes pelo que, na estação de aquecimento, o fator solar será igual ao fator solar global considerando as mesmas. Verifica-se que a proteção solar não é opaca e consultando as tabelas 12 e 13 dos Despacho n.º 15793-K/2013, temos que:

$$g_{\perp,vi} = 0,78$$

$$g_{Tvc} = 0,09$$

Assim:

$$g_i = g_{Tp} = g_{\perp,vi} \times \frac{g_{Tvc}}{0,75} = 0,78 \times \frac{0,09}{0,75} = 0,09$$

- **Estação de arrefecimento**

Na estação de arrefecimento considera-se que as proteções móveis se encontram parte do tempo 100% ativadas, variando essa parcela de acordo com a orientação e encontrando-se definida na tabela 14 do Despacho n.º 15793-K/2013 sob a nomenclatura F_{mv} . O fator solar de verão é então determinado recorrendo à seguinte equação:

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times g_{Tp}$$

Em que:

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados;

g_T – Fração solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou móveis, totalmente ativados;

g_{Tp} – Fator solar global do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

Tal como na estação de aquecimento, no caso de não existirem proteções solares, o fator solar é obtido pela multiplicação do fator solar do vidro pelo fator de seletividade angular, encontrando-se o último definido na tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013, variando este com a orientação e com o tipo de vidro.

A fórmula geral apresenta 4 combinações possíveis, resultando nas seguintes:

Existência apenas de proteções solares permanentes

$$g_v = g_{Tp}$$

Existência de proteções solares permanentes e móveis

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times g_{Tp}$$

Existência apenas de proteções solares móveis

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times F_{w,v} \times g_{\perp,vi}$$

Ausência de proteções solares

$$g_v = F_{w,v} \times g_{\perp,vi}$$

No caso particular dos vãos envidraçados interiores, adjacentes com espaços não úteis igualmente com vão envidraçado, é necessário verificar a existência, ou não, de proteções solares permanentes. Em caso afirmativo, o fator solar do vão do espaço não útil toma o valor de g_{Tp} , tomando nos restantes casos o valor 1. Nas figuras seguintes apresentam-se exemplos da determinação do fator solar de verão para os vãos interior e do espaço não útil.

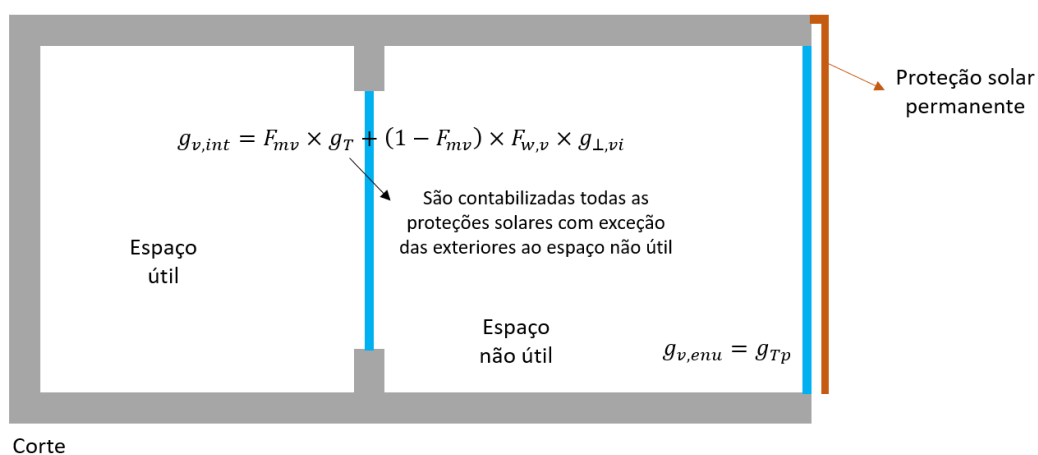


Figura 26 – Determinação do fator solar: Exemplo I.

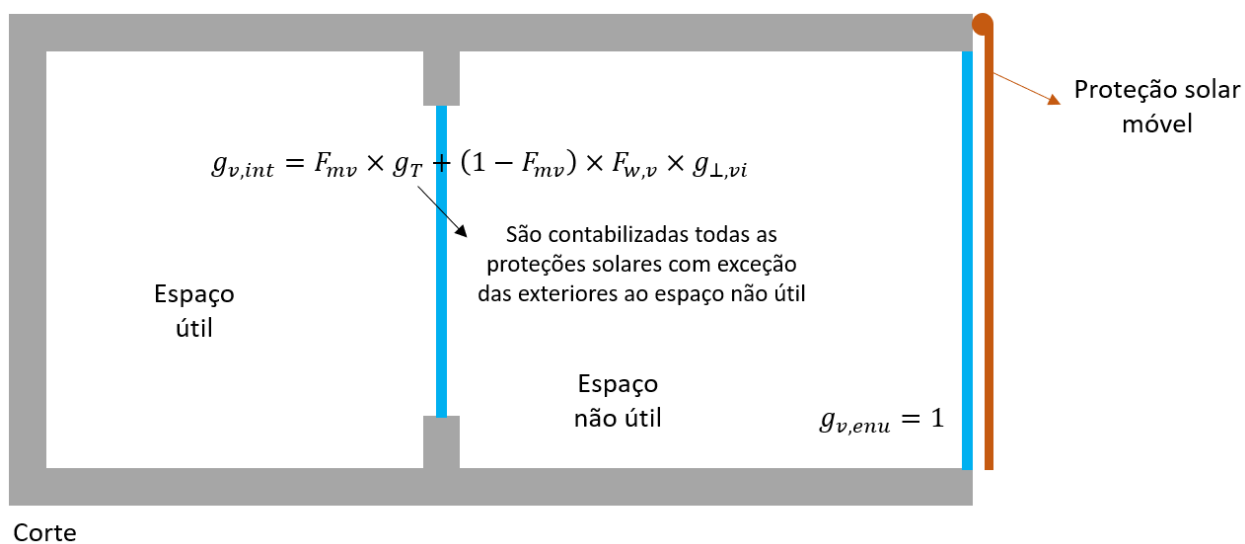


Figura 27 – Determinação do fator solar: Exemplo II.

Exemplo: Determinar o fator solar de verão de um vão envidraçado exterior orientado a este, com vidro duplo colorido na massa 4mm e incolor 4mm, protegido exteriormente por uma lona opaca de cor clara e por uma persiana de réguas metálicas de cor média.

Resolução:

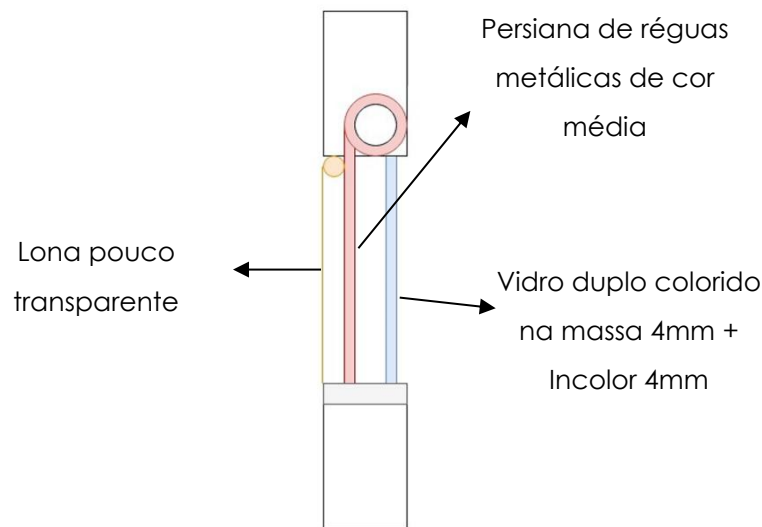


Figura 28 – Pormenor de vão.

O vão envidraçado apenas possui proteções solares móveis pelo que, na estação de arrefecimento, o fator solar será obtido pela seguinte equação:

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times F_{w,v} \times g_{\perp,vi}$$

$F_{mv} = 0,60$ – Tabela 14 do Despacho n.º 15793-K/2013;

$g_{Tvc(lona)} = 0,14$ – Tabela 13 do Despacho n.º 15793-K/2013 (não opaca);

$g_{Tvc(persiana)} = 0,07$ – Tabela 13 do Despacho n.º 15793-K/2013 (opaca);

$F_{w,v} = 0,85$ – Tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013;

$g_{\perp,vi} = 0,60$ – Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013.

Como a persiana de réguas é opaca, a determinação do fator solar global deve ser efetuada da seguinte forma:

$$g_T = g_{Tvc(lona)} \times g_{Tvc(persiana)} = 0,14 \times 0,07 = 0,01$$

Assim:

$$g_v = 0,60 \times 0,01 + (1 - 0,60) \times 0,85 \times 0,60 = 0,21$$

5.2.2 EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS

A Portaria n.º 349-D/2013, de 2 de dezembro, na sua atual versão, define que “quando existam dispositivos de sombreamento móvel, deve ser considerada, a utilização desses dispositivos sempre que a radiação solar incidente na fachada exceda os 300 W/m², ou que os mesmos estão ativos a 60% da área ou outro método que produza efeito equivalente”. Assim, caso o *software* de simulação dinâmica o permita, deverá ser aplicada a primeira regra. Caso contrário, deverá ser verificada a possibilidade do simulador sobre considerações de seletividade angular, colocação das proteções solares, colocação de perfis para a ativação das proteções, entre outras, aproximando o modelo o mais possível à situação real. Quando o simulador não permite caracterizar o efeito das proteções solares e da seletividade angular, dever-se-á recorrer à equação seguinte, encontrando-se subdividida em duas parcelas, 60% com as proteções solares ativadas (g_T) e 40% sem proteções solares ($g_{\perp,vi}$). Na segunda parcela, considera-se a seletividade angular de verão durante 4 meses (estação de arrefecimento) e a seletividade angular de inverno (0,90) durante o restante período do ano.

$$g_{simulação} = 0,60 \times g_T + 0,40 \times \left(\frac{4}{12} \times F_{w,v} \times g_{\perp,vi} + \frac{8}{12} \times 0,90 \times g_{\perp,vi} \right)$$

Exemplo: Determinar o fator solar, para considerar na simulação, de um vão envidraçado exterior orientado a este, com vidro duplo colorido na massa 4mm e incolor 4mm, protegido exteriormente por uma persiana de réguas metálicas de cor média.

Resolução:

De acordo com os dados do enunciado, recorrendo ao Despacho n.º 15793-K/2013, temos os seguintes dados:

$g_{Tvc(persiana)} = 0,07$ – Tabela 13 do Despacho n.º 15793-K/2013 (opaca);

$F_{w,v} = 0,85$ – Tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013;

$g_{\perp,vi} = 0,60$ – Tabela 12 do Despacho n.º 15793-K/2013.

Como a persiana de régua é opaca e exterior, o fator solar toma o valor de g_{Tvc} .

$$g_T = 0,07$$

Assim:

$$g_{simulação} = 0,60 \times 0,07 + 0,40 \times \left(\frac{4}{12} \times 0,85 \times 0,60 + \frac{8}{12} \times 0,90 \times 0,60 \right) = 0,25$$

5.3 FATOR DE OBSTRUÇÃO

O efeito da radiação solar incidente num vão envidraçado pode ser condicionado pela existência de obstruções solares, caracterizando-se para o efeito obstruções por elementos no horizonte, obstruções por elementos horizontais e obstruções por elementos verticais. O fator de obstrução é então obtido pelo produto dos três fatores.

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$$

F_s – Fator de obstrução;

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício.

No caso do RECS, existem vários simuladores com a capacidade de parametrizar a totalidade ou parte das obstruções, devendo o PQ proceder de forma a que se consiga retratar da melhor forma possível a realidade do imóvel.

5.3.1 FATOR DE SOMBREAMENTO POR ELEMENTOS NO HORIZONTE

O fator de sombreamento do horizonte (F_h) traduz o efeito do sombreamento provocado por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou edifícios vizinhos dependendo do ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento, tomando o valor 1 na estação de arrefecimento. Esta simplificação é devida à posição do sol no verão, não se considerando assim o efeito dos elementos do horizonte.

O fator de sombreamento do horizonte é determinado recorrendo à Tabela 15 do Despacho n.º 15793-K/2013, variando o mesmo com a orientação do vão e com o ângulo do horizonte, determinando-se o último como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60º para cada um dos lados da normal ao envidraçado.

No exemplo constante na figura seguinte verifica-se a existência de 4 edifícios nas imediações do vão envidraçado em análise. Conforme se pode verificar, apenas os edifícios 1 e 2 podem ser contemplados na determinação do fator solar do horizonte, em particular o edifício 1 por ser maior que o edifício 2.

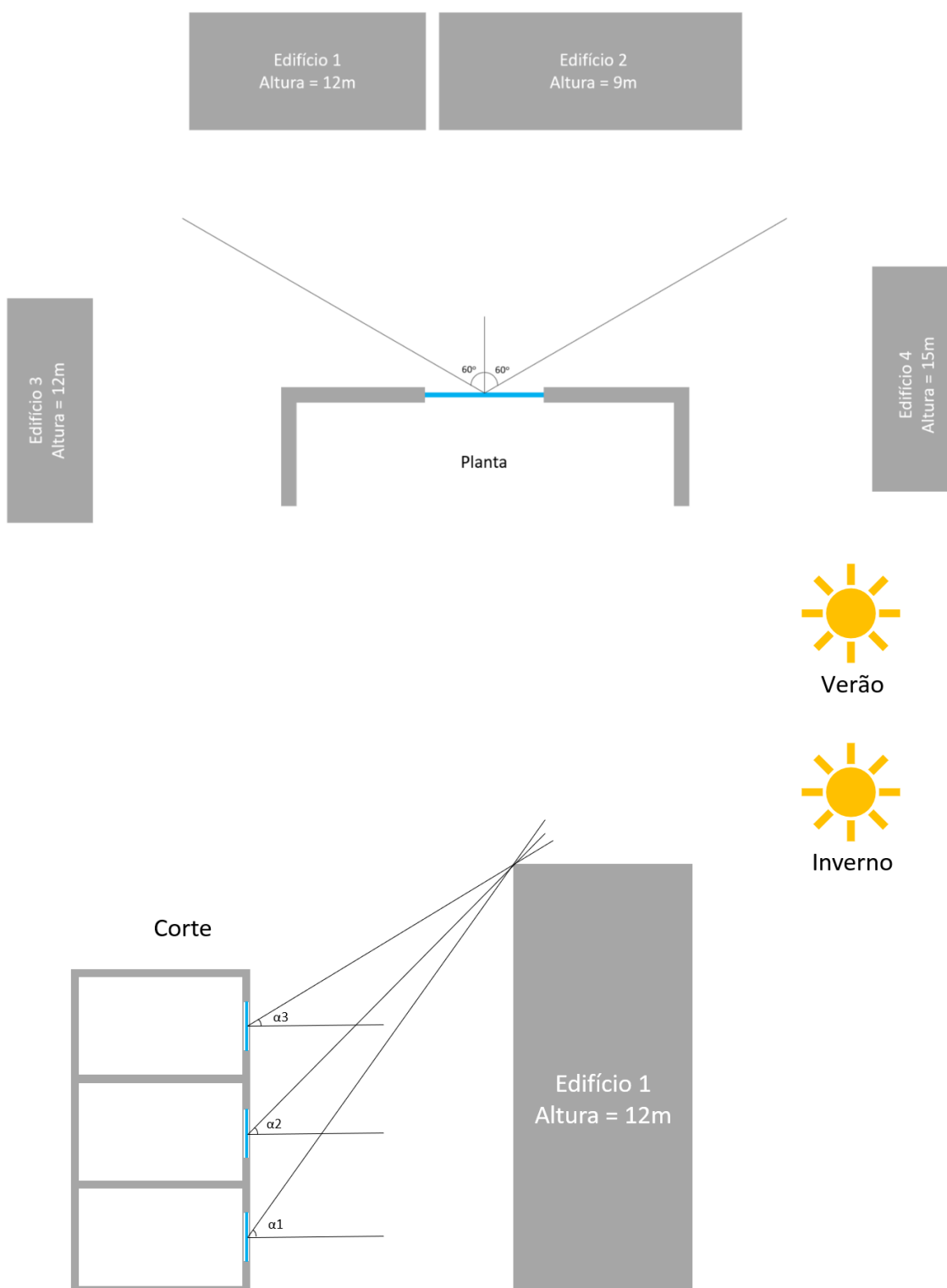


Figura 29 – Fator de sombreamento por elementos no horizonte.

Caso não exista informação sobre a obstrução (distância e altura), o fator de sombreamento deverá ser determinado considerando um ângulo de 45° em ambiente urbano ou um ângulo de 20° no caso de edifícios isolados localizados fora das zonas urbanas.

5.3.2 FATOR DE SOMBREAMENTO POR ELEMENTOS HORIZONTAIS

O sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes aos vãos envidraçados, compreendendo palas, varandas e outros elementos de um edifício, depende do comprimento/ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local.

A determinação do ângulo de sombreamento deve ser efetuada de acordo com a figura seguinte, recorrendo-se às tabelas 16 e 17 do Despacho n.º 15793-K/2013, respetivamente estação de aquecimento e estação de arrefecimento, para obtenção do fator de sombreamento de elementos horizontais.

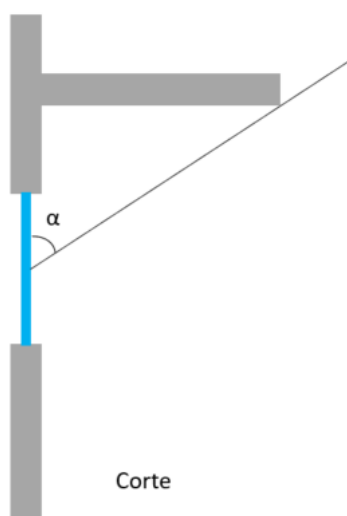


Figura 30 – Fator de sombreamento por elementos horizontais.

5.3.3 FATOR DE SOMBREAMENTO POR ELEMENTOS VERTICAIS

A obtenção do fator de sombreamento por elementos verticais é efetuada de acordo com os ângulos das obstruções à direita e à esquerda do vão envidraçado, sendo a posição definida considerando o utilizador no interior da fração. Caso existam sombreamentos de ambos os lados, o fator global será obtido pela multiplicação dos dois fatores, de acordo com a figura seguinte. Os fatores, que variam com o ângulo, com a posição e com a orientação, encontram-se, respetivamente para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento, nas tabelas 18 e 19 do Despacho n.º 15793-K/2013.

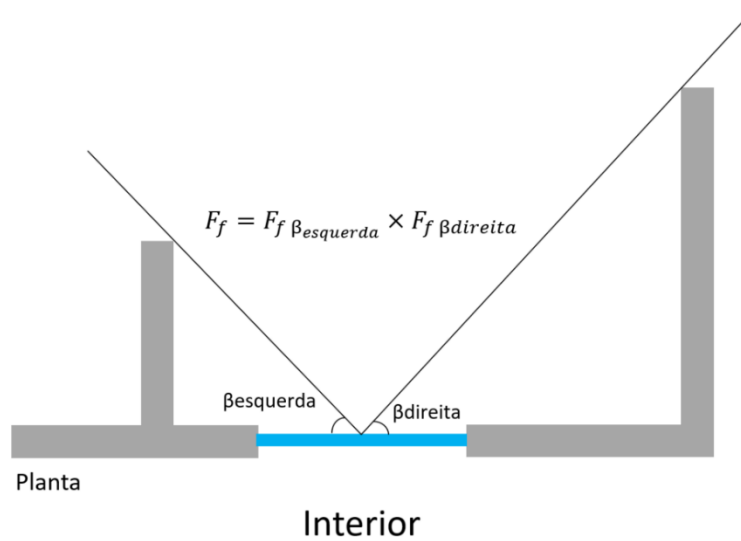


Figura 31 – Fator de sombreamento por elementos verticais.

Caso o vão envidraçado não se encontre à face, para contabilização dos sombreamentos provocados pelo seu contorno, o produto $F_o \times F_f$ não deve ser superior a 0,90.

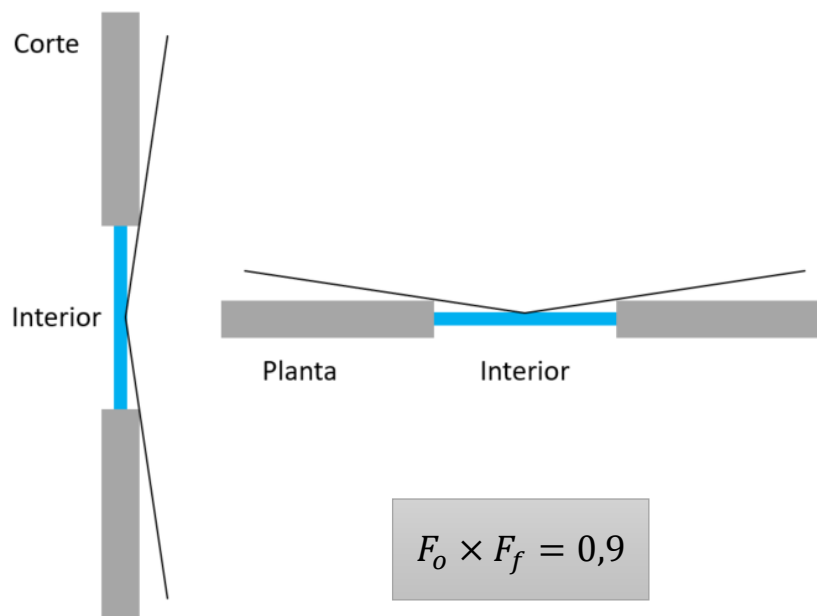


Figura 32 – Fator de sombreamento pelo contorno do vão, vão recuado.

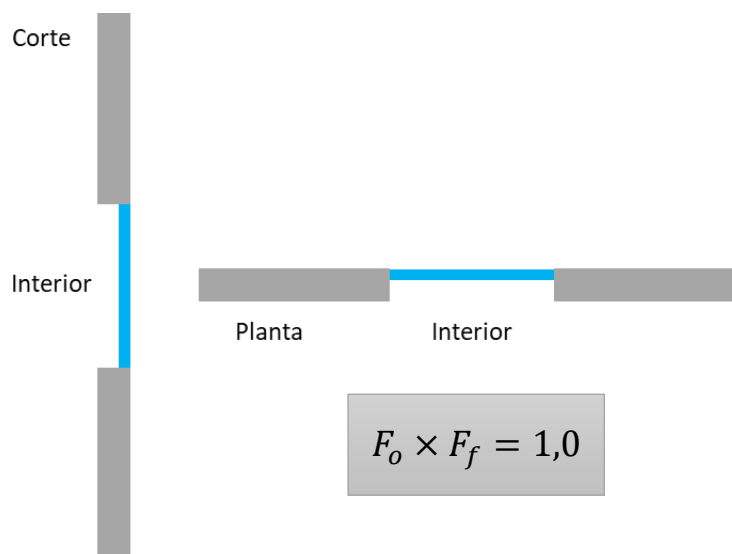


Figura 33 – Fator de sombreamento pelo contorno do vão, vão à face.

5.3.4 VÃOS ENVIDRAÇADOS INTERIORES

No caso particular dos vãos envidraçados interiores, a determinação do fator de obstrução para um vão envidraçado interior, na estação de arrefecimento, é realizada admitindo sempre que os elementos opacos do espaço não útil não causam sombreamento no vão envidraçado interior (como se não existisse espaço não útil), pelo que, na ausência de outros sombreamentos, este parâmetro é igual a 1.

O inverso é verificado na estação de aquecimento, apresentando-se nas figuras seguintes exemplos de aplicação.

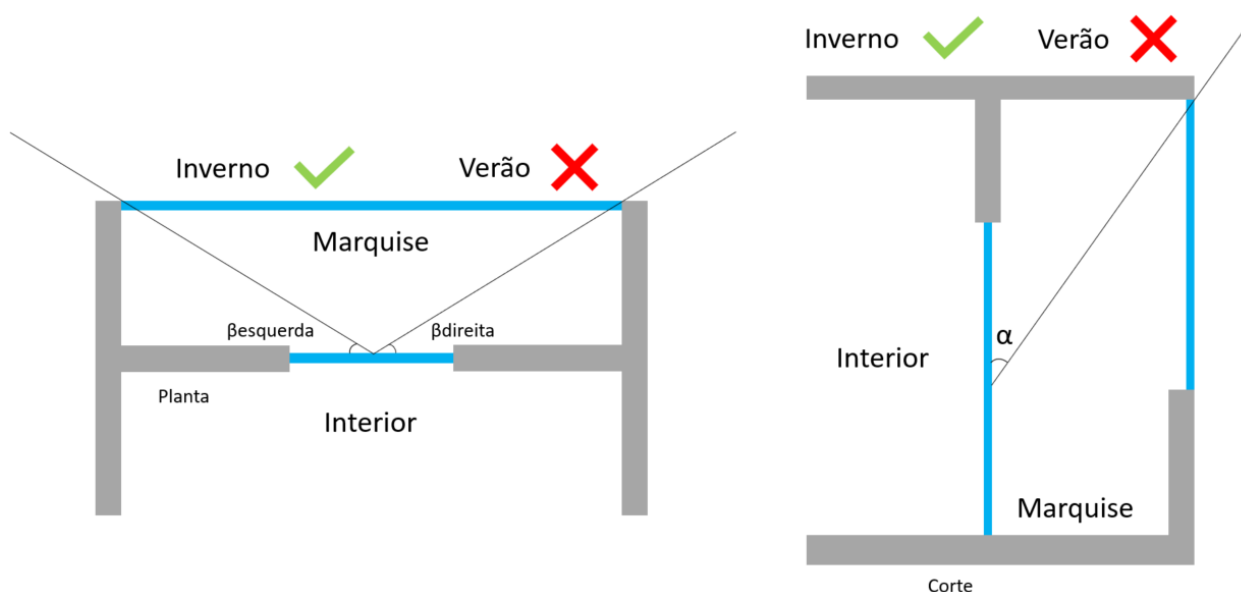


Figura 34 – Determinação do fator de obstrução de vãos interiores: Exemplo I.

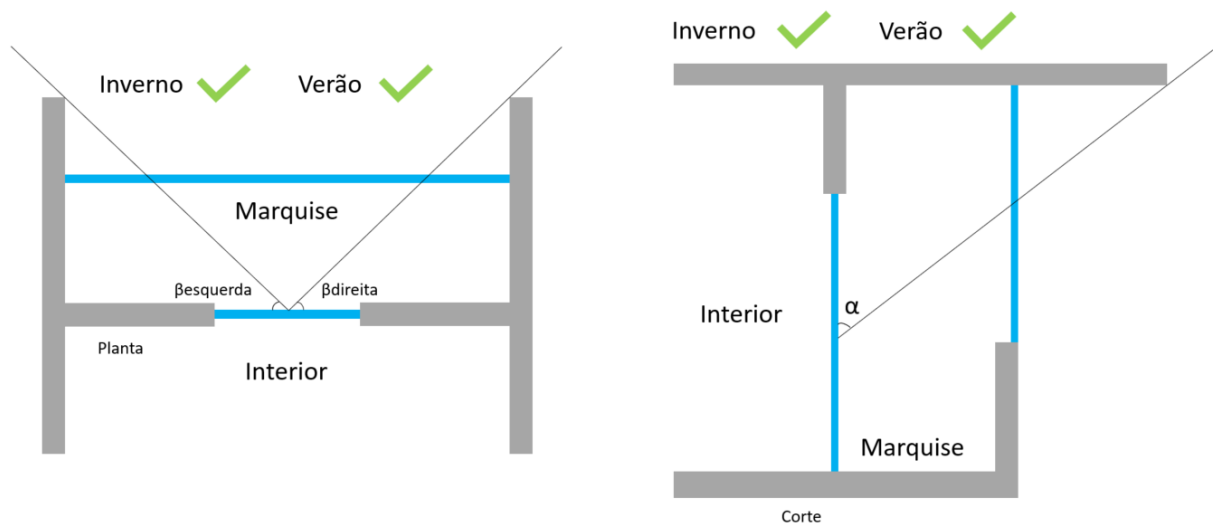


Figura 35 – Determinação do fator de obstrução de vãos interiores: Exemplo II.

Exemplo: Determinar o fator de sombreamento do horizonte de um vão envidraçado orientado a este com uma altura de 2m e que se encontra a 6m do solo. Em linha reta em relação ao vão envidraçado e a 15m de distância do mesmo, existe um edifício com 5 pisos.

Resolução:

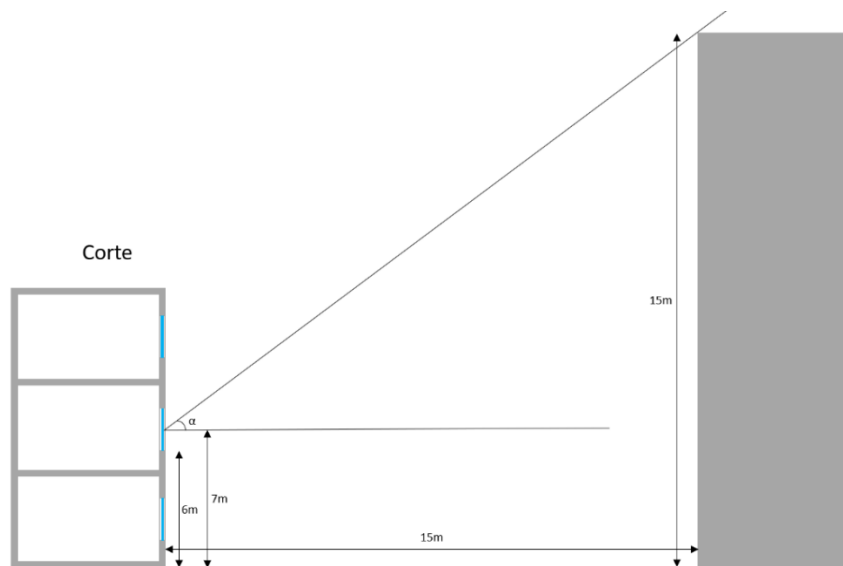


Figura 36 – Fator de sombreamento do horizonte.

De acordo com o enunciado, o centro do vão encontra-se a uma altura de 7m, existindo um edifício a provocar sombreamento com 15m de altura (à falta de informação deve considerar-se um total de 3m por piso).

O ângulo pode então ser determinado da seguinte forma:

$$\tan(\alpha) = \frac{(15 - 7)}{15} \Leftrightarrow \alpha = 28,07^\circ$$

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Figura 37 – Determinação do ângulo do horizonte.

Uma vez que o ângulo se encontra entre dois valores tabelas é necessário interpolar para determinar o fator, obtendo-se $F_h = 0,74$.

Exemplo: Determinar o fator de obstrução, na estação de aquecimento, de um vão envidraçado de um apartamento, orientado a este, com um edifício nas imediações a provocar um sombreamento do horizonte (ângulo de 10°) e com uma pala horizontal (ângulo de 53°).

Resolução:

Corte

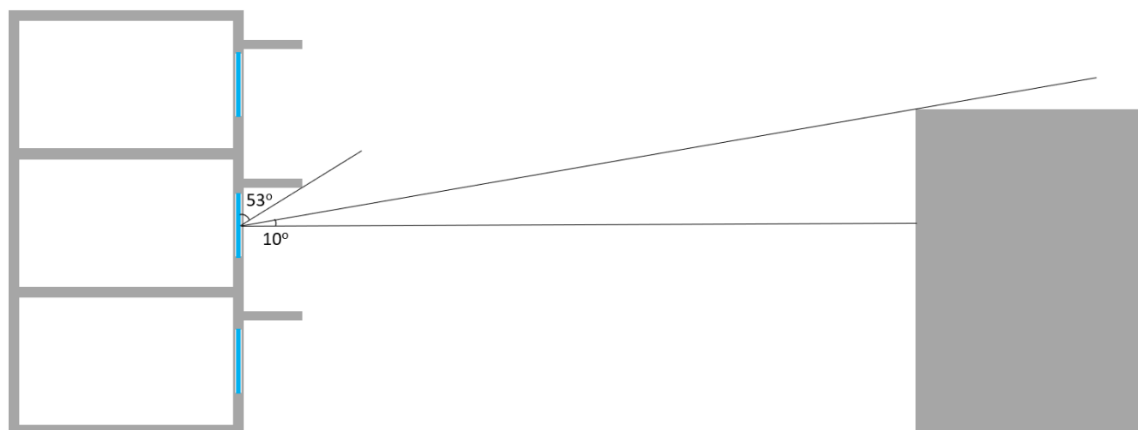


Figura 38 – Ângulos de obstrução (na estação de aquecimento).

De acordo com a Tabela 15 do Despacho n.º 15793-K, o fator de sombreamento do horizonte na estação de aquecimento é obtido através da Tabela 15 do Despacho n.º 15793-K/2013. Uma vez que o ângulo é de 10°, o fator toma o valor $f_h = 0,94$.

Os valores do fator de sombreamento de elementos horizontais na estação de aquecimento encontram-se na Tabela 16 do referido despacho. Uma vez que o ângulo do elemento horizontal se encontra entre ângulos tabelas, será necessária uma interpolação para obtenção do fator.

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44

Figura 39 – Ângulo da pala horizontal.

Tabela 22 – Determinação do fator de obstrução.

Ângulo	Fator
45	0,74
53	F_o
60	0,64

$$\frac{60 - 53}{60 - 45} = \frac{0,64 - F_o}{0,64 - 0,74} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 0,47 = \frac{0,64 - F_o}{-0,10} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow F_o = 0,69$$

Uma vez que não se verifica a existência de sombreamento verticais, o fator F_f toma o valor de 1.

Assim, o fator de obstrução para o envidraçado em análise é:

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f = 0,94 \times 0,69 \times 1 = 0,65$$

Exemplo: Determinar o fator de obstrução, na estação de aquecimento, de um vão envidraçado de um apartamento, orientado a oeste, possuindo os sombreamentos visíveis na tabela seguinte, onde $B1 = 60^\circ$ e $B2 = 45^\circ$.

Resolução:

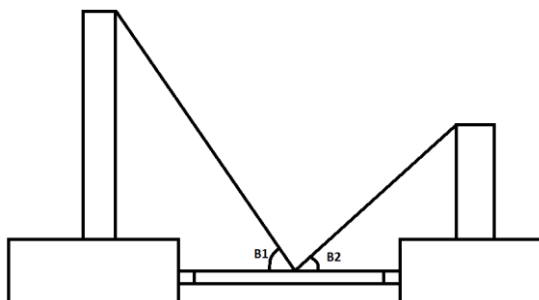


Figura 40 – Fator de obstrução (na estação de aquecimento).

O vão possui dois elementos verticais, um à direita e outra à esquerda pelo que o fator de sombreamento de elementos verticais será o produto entre os dois fatores.

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Figura 41 – Determinação do fator de obstrução de acordo.

$$F_f = F_{f_{esq.}} \times F_{f_{dir.}} = 0,72 \times 1 = 0,72$$

Não existindo sombreamentos do horizonte ou horizontais, o fator de obstrução toma o valor do fator de sombreamento de elementos verticais.

$$F_s = F_h \times F_o \times F_f = 1 \times 1 \times 0,72 = 0,72$$

Exemplo: Determinar o fator de obstrução, na estação de aquecimento, de um vão envidraçado de um apartamento, orientado a oeste, possuindo um sombreamento do horizonte com um ângulo de 30°. O vão envidraçado encontra-se recuado 10cm em relação à fachada.

Resolução:

Recorrendo à Tabela 15 do Despacho n.º 15793-K/2013, o fator de sombreamento F_h , para uma orientação oeste e um ângulo de 30°, toma o valor de 0,71.

Na ausência de sombreamentos provocados por elementos do horizonte, por elementos verticais ou por elementos horizontais, os respetivos fatores tomam o valor 1. Neste caso específico, não existindo elementos verticais ou horizontais, F_o e F_f tomam o valor 1.

Para efeitos de cálculo, caso um vão envidraçado se encontre recuado em relação à fachada, o produto $F_o \times F_f$ não deve ser superior a 0,90 (subponto 3, do ponto 8, do Despacho n.º 15793-K/2013).

Como não são dadas as dimensões do vão, e sabendo que este se encontra recuado, o fator de obstrução toma o seguinte valor:

$$F_s = F_h \times (F_o \times F_f) = 0,71 \times 0,90 = 0,64$$

5.4 FRAÇÃO ENVIDRAÇADA

A fração envidraçada representa a proporção da área de vidro em relação à área total do vão envidraçado. Como simplificação, poder-se-á recorrer à Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013, variando a fração solar com o tipo de caixilharia e com a existência, ou não, de quadrícula.

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

Figura 42 – Fração envidraçada (Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013).

Em alternativa à utilização desta tabela, o PQ pode medir a área do vidro e a área de caixilho resultando o valor de F_g da seguinte relação:

$$F_g = \frac{A_{v\tilde{a}o}}{A_{vidro}}$$

Em que:

$A_{v\tilde{a}o}$ - Área da abertura do vão [m²];

A_{vidro} - Área do vidro (sem caixilho) [m²].

5.5 FATOR DE CORREÇÃO DA SELETIVIDADE ANGULAR

O fator de correção da seletividade angular dos envidraçados, F_w , traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta, encontrando-se definidos fatores para a estação de aquecimento e para a estação de arrefecimento⁹.

5.5.1 ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

Na estação de aquecimento, o valor do fator de correção da seletividade angular $F_{w,i}$ toma o valor 0,90.

5.5.2 ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

Na estação de arrefecimento, para vãos com vidro plano (incolor, colorido ou refletante) simples ou duplo, a redução dos ganhos solares causada pela variação do ângulo de incidência da radiação solar é contabilizada conforme a Tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013.

Orientação do vão	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

Figura 43 – Fator de correção da seletividade angular, Tabela 21 do Despacho n.º 15793-K/2013.

Nos casos não previstos, incluindo os vãos no plano horizontal, o fator $F_{w,v}$ toma o valor 0,90.

⁹ Ponto 10 do Despacho n.º 15793-K/2013, de 3 de dezembro.

5.6 ÁREA EFETIVA COLETORA

A área efetiva coletora representa a área de um vão envidraçado que é utilizada para efeitos de contabilização dos ganhos solares, traduzida pelo produto da fração envidraçada e o fator solar do vão na respetiva estação (aquecimento/arrefecimento).

5.6.1 ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

Na estação de aquecimento, a área efetiva coletora é obtida através da equação seguinte:

$$A_{s,ijn} = A_w \cdot F_g \cdot g_i$$

Onde:

A_w – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e o caixilho [m²];

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado (Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013);

g_i – Fator solar de inverno.

No caso particular dos vãos envidraçados interiores, a área efetiva coletora é determinada pela expressão:

$$A_{s,ijn} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (F_g)_{enu} \cdot (g_i)_{int} \cdot (g_i)_{enu}$$

Em que:

$(A_w)_{int}$ – Área total do vão envidraçado interior, incluindo vão e caixilho [m²];

$(F_g)_{int}$ – Fração envidraçada do vão envidraçado interior;

$(F_g)_{enu}$ – Fração envidraçada do vão envidraçado do espaço não útil;

$(g_i)_{int}$ – Fator solar na estação de aquecimento, do vão envidraçado interior;

$(g_i)_{enu}$ – Fator solar na estação de aquecimento, do vão envidraçado do espaço não útil.

Exemplo: Determinar a área efetiva coletora, na estação de aquecimento, de um vão envidraçado exterior com 4 m², em alumínio sem quadrícula e com vidro simples incolor com 8mm de espessura.

Resolução:

A área efetiva coletora na estação de aquecimento de um vão envidraçado é dada pela seguinte expressão:

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_i$$

Uma vez que não existem proteções solares permanentes, a equação anterior toma a seguinte forma:

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \times F_g \times (g_{\perp,vi} \times 0,90)$$

De acordo com o enunciado e com as Tabela 12 e 20 do Despacho n.º 15793-K/2013, respetivamente, $g_{\perp,vi} = 0,82$ e $F_g = 0,70$. Assim:

$$A_s = 4 \times 0,70 \times (0,82 \times 0,90) = 2,07 \text{ m}^2$$

Exemplo: Determinar a área efetiva coletora, na estação de aquecimento, de um vão envidraçado interior com 6 m², em alumínio sem quadrícula e com vidro duplo (vidro colorido na massa de 5mm + incolor de 4 mm). O vão do espaço não útil é em alumínio sem quadrícula e com vidro simples incolor com 5mm de espessura. O vão interior possui uma proteção solar por intermédio de persiana de réguas metálicas de cor branca.

Resolução:

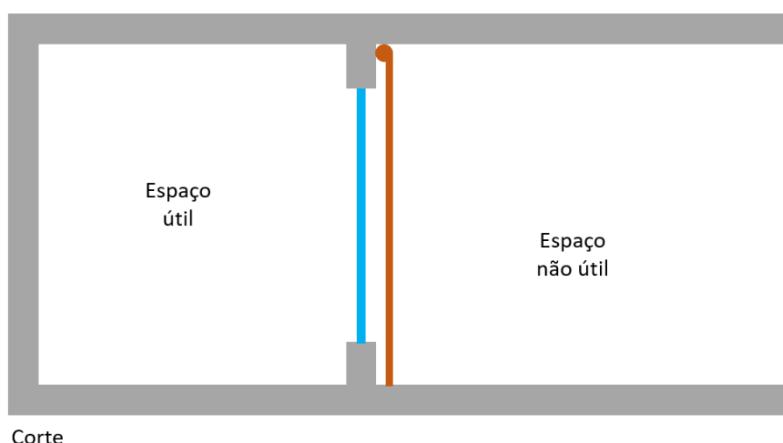


Figura 44 – Área efetiva coletora de um vão envidraçado (estação de aquecimento).

A área efetiva coletora na estação de aquecimento de um vão envidraçado interior é dada pela seguinte expressão:

$$A_{s,ijn} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (F_g)_{enu} \cdot (g_i)_{int} \cdot (g_i)_{enu}$$

Uma vez que não existem proteções solares permanentes e que na estação de aquecimento é considerado que as proteções solares móveis se encontram sempre inativas, temos que:

$$A_{s,ijn} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (F_g)_{enu} \cdot (g_{\perp,vi} \times 0,90)_{int} \cdot (g_{\perp,vi} \times 0,90)_{enu}$$

De acordo com o enunciado e com as Tabela 12 e 20 do Despacho n.º 15793-K/2013, respetivamente, $(g_{\perp,vi})_{int} = 0,55$, $(g_{\perp,vi})_{enu} = 0,87$ e $(F_g)_{int} = (F_g)_{enu} = 0,70$. Assim:

$$A_s = 6 \times 0,70 \times 0,70 \times (0,55 \times 0,90) \times (0,87 \times 0,90) = 1,14 \text{ m}^2$$

5.6.2 ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

5.6.2.1 ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA

Na estação de arrefecimento a área efetiva coletora é obtida através da equação seguinte:

$$A_{s,v_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$$

Onde:

A_w – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e o caixilho [m²];

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado (Tabela 20 do Despacho n.º 15793-K/2013);

g_v – Fator solar de verão.

No caso particular dos vãos envidraçados interiores, a área efetiva coletora é determinada pela expressão:

$$A_{s,v_{nj}} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (g_v)_{int} \cdot (g_v)_{enu}$$

Em que:

$(A_w)_{int}$ – Área total do vão envidraçado interior, incluindo vão e caixilho [m²];

$(F_g)_{int}$ – Fração envidraçada do vão envidraçado interior;

$(g_v)_{int}$ – Fator solar na estação de arrefecimento, do vão envidraçado interior;

$(g_v)_{enu}$ – Fator solar na estação de arrefecimento, do vão envidraçado do espaço não útil.

Exemplo: Determinar a área efetiva coletora, na estação de arrefecimento, de um vão envidraçado exterior orientado a oeste com 10 m², em alumínio com quadrícula e com vidro duplo incolor (5mm+4mm). O vão possui uma proteção solar interior por intermédio de um estore de lâminas de cor clara.

Resolução:

A área efetiva coletora na estação de aquecimento de um vão envidraçado é dada pela seguinte expressão:

$$A_{s,v_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_v$$

O fator solar de verão é obtido pela seguinte expressão:

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times F_{w,v} \times g_{\perp,vi}$$

Recorrendo às Tabelas 12, 13, 14, 20 e 21 do Despacho n.º 15793-K/2013, respetivamente, $g_{\perp,vi} = 0,78$, $g_{Tvc} = 0,47$, $F_{mv} = 0,60$, $F_g = 0,70$ e $F_{w,v} = 0,85$. Assim:

$$g_v = 0,60 \times \left(0,78 \times \frac{0,47}{0,75} \right) + (1 - 0,60) \times 0,85 \times 0,78 = 0,56$$

Assim:

$$A_s = 10 \times 0,70 \times 0,56 = 3,92 \text{ m}^2$$

Exemplo: Determinar a área efetiva coletora, na estação de arrefecimento, de um vão envidraçado interior orientado a sul com 6 m², em alumínio sem quadrícula e com vidro duplo (vidro colorido na massa de 5mm + incolor de 4 mm). O vão do espaço não útil é em alumínio sem quadrícula e com vidro simples incolor com 5mm de espessura. O vão interior possui uma proteção solar por intermédio de persiana de réguas metálicas de cor branca.

Resolução:

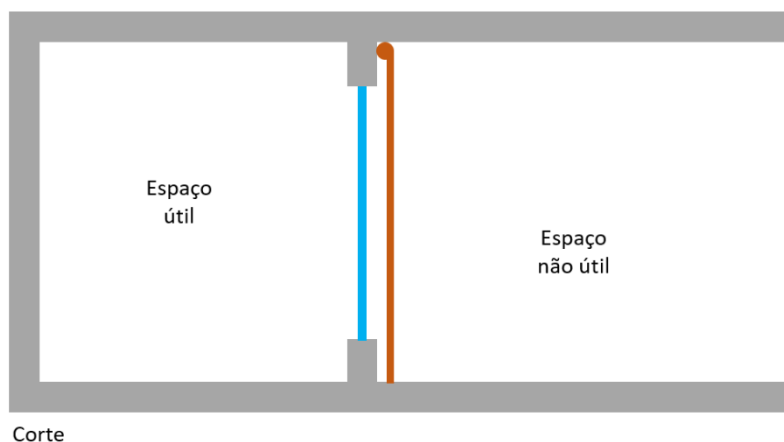


Figura 45 – Área efetiva coletora de um vão envidraçado (estação de arrefecimento).

A área efetiva coletora na estação de arrefecimento de um vão envidraçado interior é dada pela seguinte expressão:

$$A_{s,v_{nj}} = (A_w)_{int} \cdot (F_g)_{int} \cdot (g_v)_{int} \cdot (g_v)_{enu}$$

Uma vez que não existem proteções solares permanentes exteriores ao vão do espaço não útil, o fator solar deste toma o valor 1.

A determinação do fator solar de verão do vão interior é dada pela seguinte equação:

$$g_v = F_{mv} \times g_T + (1 - F_{mv}) \times F_{w,v} \times g_{\perp,vi}$$

Uma vez que a proteção solar é opaca, $g_T = g_{Tvc} = 0,04$.

De acordo com o enunciado e com as Tabela 12, 14, 20 e 21 do Despacho n.º 15793-K/2013, respetivamente, $(g_{\perp,vi})_{int} = 0,55$, $F_{mv} = 0,60$, $(F_g)_{int} = 0,70$ e $F_{w,v} = 0,77$. Assim:

$$g_v = 0,60 \times 0,04 + (1 - 0,60) \times 0,75 \times 0,55 = 0,19$$

Então:

$$A_s = 6 \times 0,70 \times 0,19 \times 1 = 0,80 \text{ m}^2$$

5.6.2.2 ENVOLVENTE OPACA

A determinação da área efetiva coletora de radiação solar de um elemento n da envolvente opaca exterior, com orientação j é efetuada recorrendo à seguinte equação, aplicável a espaços úteis e não úteis:

$$A_{s,v_{nj}} = \alpha \times U \times A_{op} \times R_{se} \text{ [m}^2\text{]}$$

Em que:

α – Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca (Tabela 08 do Despacho n.º 15793-K/2013);

U – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca [W/(m².°C)];

A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca exterior [m²];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior igual a $0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

No caso de sistemas ventilados em paredes, e para além do coeficiente de absorção, deve ser tido em conta o fator que exprime o efeito da emissividade das faces interiores do revestimento e do grau de ventilação da caixa-de-ar, de acordo a tabela 09 do Despacho nº 15793-K/2013.

Elemento	Fator
Face interior do revestimento exterior de baixa emissividade e/ou caixa de ar fortemente ventilada	0,10
Outros casos	0,25

Figura 46 – Fator de correção do coeficiente de absorção de uma fachada ventilada

Já no caso de coberturas em desvão deve ser tido em conta o fator que exprime o efeito da emissividade da face interior desta e do grau de ventilação do desvão, com base na Tabela 10 do supracitado despacho.

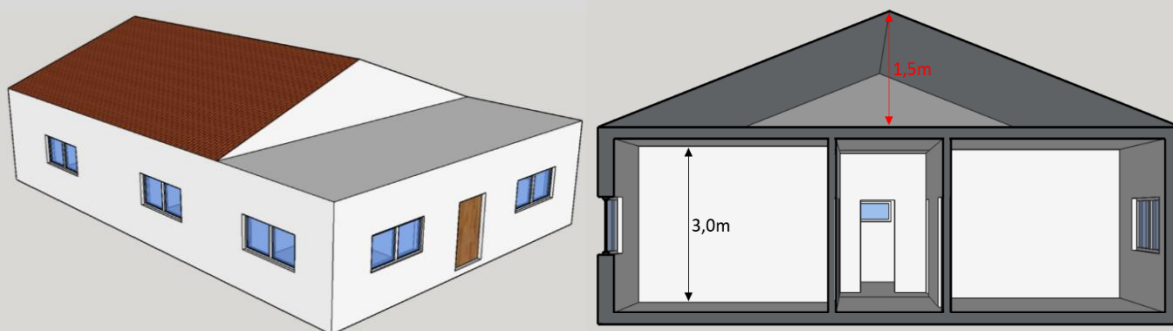
Desvão	Emissividade	Fator
Fortemente ventilado	Normal	0,8
	Baixa	0,7
Fracamente ventilado	Normal	1,0
	Baixa	0,9
Não ventilado	Normal	1
	Baixa	

Figura 47 – Fator do coeficiente de absorção de uma cobertura em desvão

Entendem-se como materiais de baixa emissividade aqueles que apresentam $\epsilon \leq 0,20$.

Exemplo: Determinar a área efetiva coletora por radiação solar através dos elementos opacos de um edifício de habitação novo com as seguintes características:

- PE1 com $U = 0,45 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ – orientações este, sul e oeste
- PE2 com $U = 0,40 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ – orientação norte | fachada ventilada (caixa-de-ar fracamente ventilada)
- CobExt1 com $U = 0,35 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ – Cobertura exterior horizontal
- CobInt1 com $U = 0,30 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ – Cobertura interior (desvão de cobertura fortemente ventilado)
- Todos os vãos envidraçados possuem $2,0\text{m} \times 1,0\text{m}$ com exceção do existente na LS 2 que possui $1,0\text{m} \times 0,5\text{m}$
- Pé direito de todos os espaços de $3,0\text{m}$
- Porta principal com $1,2\text{m} \times 2,0\text{m}$
- Porta da lavandaria com $0,8\text{m} \times 2,0\text{m}$
- Todos os elementos possuem cor clara
- A lavandaria não é climatizada





Resolução:

Uma vez que não é indicado no enunciado a existência de materiais com baixa emissividade considera-se que $\epsilon > 0,20$.

Para determinação da área efetiva coletora é contabilizada toda a envolvente opaca exterior (horizontal e vertical) e ainda a envolvente interior horizontal em contacto com desvão de cobertura. Assim, neste caso específico é ignorada a envolvente interior em contacto com a lavandaria.

Para determinação da área efetiva coletora é necessário quantificar a área dos elementos:

$$A_{PE1} = (6,0 + 5,0 + 4,0 + 4,0 + 2,0 + 4,0 + 4,0 + 4,0 + 5,0) \times 3 - (8 \times (2,0 \times 1,0) + 1,2 \times 2,0) = 95,6 \text{ m}^2$$

$$A_{PE2} = (2,5 + 3,5 + 4,0) \times 3 - (1,0 \times 0,5) = 29,5 \text{ m}^2$$

$$A_{CobExt1} = 4,0 \times 4,0 + 2,0 \times 4,0 + 4,0 \times 4,0 = 40,0 \text{ m}^2$$

$$A_{CobInt1} = 4,0 \times 4,0 + 5,0 \times 4,0 + 3,5 \times 3,5 + (6,0 \times 2,5 + 1,5 \times 2,35) + 5,0 \times 4,0 + (7,65 \times 2,0) = 102,08 \text{ m}^2$$

A área efetiva coletora de radiação solar pela envolvente opaca pode então ser determinada.

$$A_{s,PE1} = 0,4 \times 0,45 \times 95,6 \times 0,04 = 0,69 \text{ m}^2$$

$$A_{s,PE2} = 0,4 \times 0,25 \times 0,40 \times 29,5 \times 0,04 = 0,05 \text{ m}^2$$

$$A_{s,CobExt1} = 0,4 \times 0,35 \times 40,0 \times 0,04 = 0,22 \text{ m}^2$$

$$A_{s,CobInt1} = 0,4 \times 0,8 \times 0,30 \times 102,08 \times 0,04 = 0,39 \text{ m}^2$$

$$A_{s,total} = 1,35 \text{ m}^2$$

Ciclo de validação do documento**Histórico de Alterações**

Versão	Data de aprovação	Descrição
V1	13-03-2020	Primeira versão pública

Lista de Distribuição

Público